

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

RADDOPPIO TRATTA FIUME TORTO – LERCARA DIRAMAZIONE
LOTTO 1 + 2

SOTTOVIA

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare esistente – km 28+878

Relazione di calcolo sottovia

SCALA:

-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
RS3Z	00	D	26	CL	SL2100	001	B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	C. INTEGRA	Gennaio 2020	M.SALLEOLINI	Gennaio 2020	A. BARRECA	Gennaio 2020	F. S. S. HI	
B	1° AGG. A CONSEGNA CSLLPP	C. INTEGRA	Maggio 2020	M.SALLEOLINI	Maggio 2020	A. BARRECA	Maggio 2020	Mag	2020

ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD
Dott. Ing. Francesco Sestini
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
n. 25172/Sgr

File: RS3Z00D26CLSL2100001B

n. Elab.:

INDICE

1. PREMESSA	3
2. DESCRIZIONE	4
3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	5
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	6
5. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI	8
5.1 Profondità della falda.....	8
6. ANALISI DEI CARICHI	9
6.1 Pesì propri.....	9
6.2 Permanenti non strutturali.....	9
6.3 Carichi mobili (traffico ferroviario).....	10
6.4 Azione di avviamento / frenatura	13
6.5 Azione di serpeggio	13
6.6 Azione del sisma.....	13
6.7 Ritiro del calcestruzzo	16
6.8 Variazione termica.....	16
6.9 Spinta statica del terreno.....	16
6.10 Spinta dovuta al sovraccarico accidentale	17
6.11 Incremento di Spinta in condizione sismiche	17
7. COMBINAZIONE DEI CARICHI.....	18
8. VERIFICHE STRUTTURALI	20
8.1 Verifiche per gli stati limite ultimi a flessione-pressoflessione.....	20
8.2 Verifica agli stati limite ultimi a taglio.....	20
8.3 Verifica agli stati limite d'esercizio.....	22
9. ANALISI STRUTTURALE	23
9.1 Modellazione strutturale : Scatolare	23

9.2	Analisi dei carichi	25
9.3	Combinazioni.....	28
9.4	Sollecitazioni	31
9.5	Verifiche strutturali.....	35
9.5.1	Verifica piedritti	35
9.5.2	Verifica soletta superiore.....	41
9.5.3	Verifica soletta inferiore.....	47
10.	INCIDENZA SCATOLARE	53
11.	DICHIARAZIONI SECONDO D.M. 17/01/2018 (P.TO 10.2)	54
11.1	Tipo di analisi svolte.....	54
11.2	Origine e caratteristiche dei Codici di Calcolo.....	54
11.3	Giudizio motivato di accettabilità dei risultati.....	54

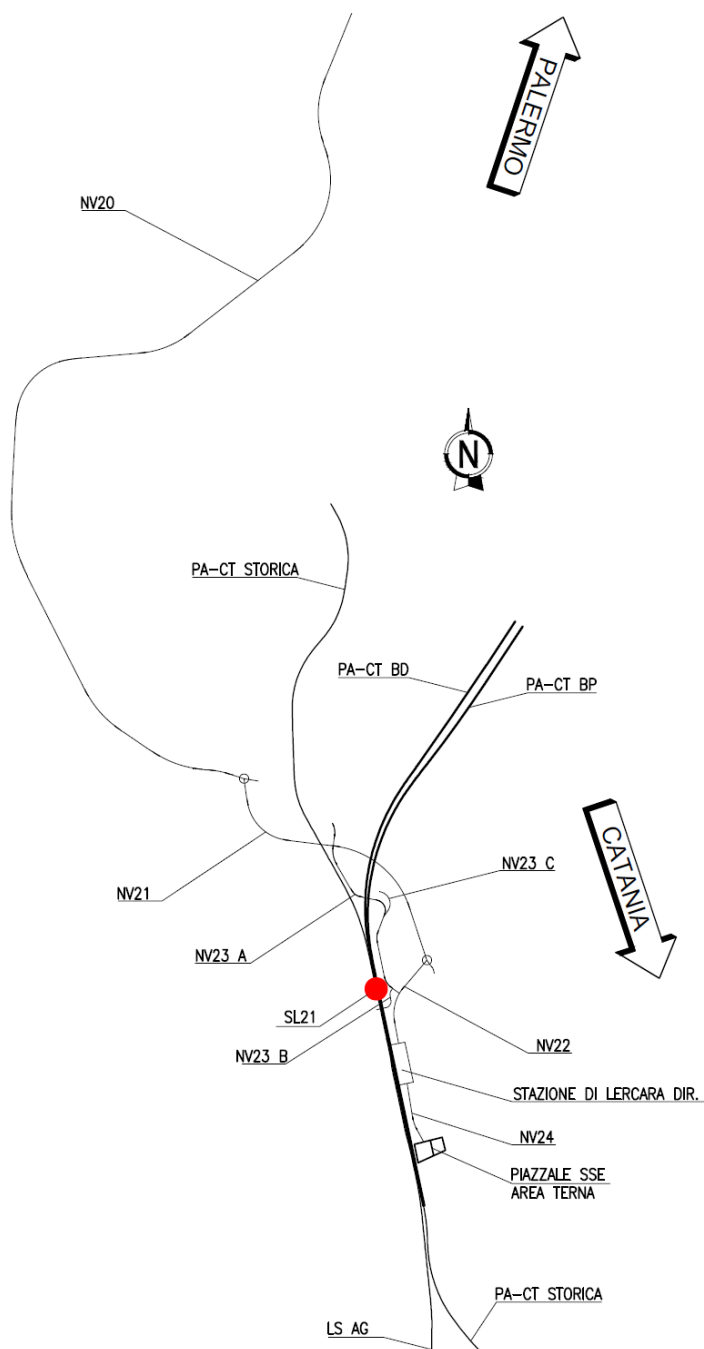
SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLSL2100001	B	3 di 56

1. PREMESSA

Il presente documento viene emesso nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici relativi alla progettazione definitiva del collegamento Palermo-Catania, raddoppio tratta Fiumetorto-Lercara Diramazione, appartenente alla Direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo.

Nella presente relazione è riportato il calcolo strutturale del sottopasso ferroviario SL21 alla progr. 28+878.



2. DESCRIZIONE

La presente relazione ha per oggetto la verifica della sezione trasversale del sottovia scatolare di linea ferroviario a prosecuzione di un sottopasso esistente avente le caratteristiche riportate nella seguente tabella:

Geometria del tombino			
Larghezza totale	Ltot	8.30	m
Altezza totale	Htot	7.00	m
Spessore soletta superiore	ss	0.70	m
Spessore piedritti	sp	0.70	m
Spessore soletta inferiore	sf	0.80	m
Luce libera	Lint	6.90	m
Altezza libera	Hint	5.50	m

Il tombino presenta un ricoprimento di circa 1.10 m in asse binario di progetto.

La struttura sarà realizzata in c.a. gettato in opera senza giunti intermedi.

Geometria del Ricoprimento			
Ballast+Armamento	Hb	0.77	m
Ricoprimento	Hsc	1.10	m
Imperm. più massetto cls sp. 5 cm	Hr	0.05	m

Si trascura a favore di sicurezza la presenza del riempimento interno.

	PROGETTO DEFINITIVO DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA–CATANIA–PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2					
SL21 – Prolungamento sottovia scatolare esistente – km 28+878 <i>Relazione di calcolo sottovia</i>	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL2100001	REV. B	FOGLIO 5 di 56

3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali sono stati condotti nel rispetto delle seguenti normative:

- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni;
- Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP.: Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018;
- Circolare 15 ottobre 1996, n.252 AA.GG./S.T.C.: Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche” di cui al decreto ministeriale 9 gennaio 1996;
- RFI DTC SI MA IFS 001 B: “Manuale di progettazione delle opere civili” del 22/12/2017.
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 B: Sezione 2 – Ponti e Strutture

Riferimenti STI:

– Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
 esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLSL2100001	B	6 di 56

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

MAGRONE - C12/15

Descrizione	Simbolo	Formula	Unità di misura	Valore
Resistenza cubica a compressione	R_{ck}		N/mm ²	15
Contenuto minimo cemento			kg/m ³	150

CALCESTRUZZO CLASSE 30/37

Descrizione	Simbolo	Formula	Unità di misura	Valore
Resistenza cubica a compressione	R_{ck}		N/mm ²	37.0
Resistenza cilindrica a compressione	f_{ck}	$0.83 * R_{ck}$	N/mm ²	30.7
Resistenza cilindrica media a compressione	f_{cm}	$f_{ck}+8$	N/mm ²	38.7
Coefficiente per effetti a lungo termine e sfavorevoli	$\alpha_{cc} (t>28gg)$		-	0.85
Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo	γ_c		-	1.5
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	$(\alpha_{cc} * f_{ck}) / \gamma_c$	N/mm ²	17.4
Resistenza cilindrica media a trazione	f_{ctm}	$0.3 * (f_{ck})^{2/3}$	N/mm ²	2.9
Resistenza cilindrica media a trazione	f_{ctk}	$0.7 * f_{ctm}$	N/mm ²	2.1
Resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	f_{ctk} / γ_c	N/mm ²	1.4
Resistenza media a trazione per flessione	f_{cfm}	$1.2 * f_{ctm}$	N/mm ²	3.5
Resistenza cilindrica caratteristica a trazione	f_{ctk}	$0.7 * f_{ctm}$	N/mm ²	2.5
Modulo elastico	E_{cm}	$22000 * (f_{cm}/10)^{0.3}$	N/mm ²	33019
Peso proprio	γ_c		N/m ³	25000
Coefficiente di Poisson	ν		-	0.2
Coefficiente di aderenza	η		-	1.0
Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza	f_{bk}	$2.25 * \eta * f_{ctk}$	N/mm ²	4.6
Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo	f_{bd}	f_{bk} / γ_c	N/mm ²	3.1

Acciaio ad aderenza migliorata B450C

Descrizione	Simbolo	Formula	Unità di misura	Valore
Resistenza caratteristica di rottura	$f_{t nom}$		N/mm ²	540
Resistenza caratteristica a snervamento	$f_{y nom}$		N/mm ²	450
Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio	γ_s		-	1.15
Resistenza di calcolo	f_{yd}	f_{yk} / γ_s	N/mm ²	391.3
Modulo elastico	E_s		N/mm ²	206000
Tensioni di progetto del cls allo S.L.E.				
Tensione massima di esercizio per l'acciaio	σ_s	$0.75 * f_{yk}$	N/mm ²	337.5

Con riferimento al punto 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato nella tabella C4.1.IV della Circolare 21.01.2019, riportata di seguito, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.III delle NTC.

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p elementi a piastra		cavi da c.a.p altri elementi	
Cmin	Co	ambiente	$C \geq Co$	$C_{min} \leq C < Co$	$C \geq Co$	$C_{min} \leq C < Co$	$C \geq Co$	$C_{min} \leq C < Co$	$C \geq Co$	$C_{min} \leq C < Co$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente:

Classe di esposizione: XA1

Copriferro di progetto: 50 mm

Condizioni ambientali: Aggressive

L'apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica RARA per gli SLE dovrà risultare:

- $\delta_f \leq w_1$ per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 17.01.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- $\delta_f \leq w_2$ per strutture in condizioni ambientali ordinarie secondo il citato paragrafo del DM 17.01.2018.

Con δ_f apertura delle fessure e w_1 valore limite dell'apertura delle fessure.

$w_1 = 0.2$ mm

$w_2 = 0.3$ mm

$w_3 = 0.4$ mm

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
 esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLSL2100001	B	8 di 56

5. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI

Gli elaborati di riferimento sono:

GEOTECNICA																			
Relazione geotecnica generale linea ferroviaria										R	S	3	Z	0	0	D	2	6	G
Profilo longitudinale geotecnico linea ferroviaria - Tav. 1/2										R	S	3	Z	0	0	D	2	6	F
Profilo longitudinale geotecnico linea ferroviaria - Tav. 2/2										R	S	3	Z	0	0	D	2	6	F

Sulla base delle indagini svolte, sintetizzate nei profili geotecnici lungo linea, in corrispondenza della progressiva si evince la seguente stratigrafia:

Terreno di fondazione

ZONA	SONDAGGIO DI RIFERIMENTO	PROFONDITA'	UNITA' TERRENO	γ_{sat} [kN/m ³]	ϕ' [°]			Cu [kPa]			c' [kPa]	Vs[m/s]			Vs,eq [m/s]	Categoria di sottosuolo	G ₀ [MPa]			Ei/Eu [MPa]	Ei[MPa]
					max	min	di prog.	max	min	di prog.		di prog.	max	min			di prog.	max	min		
2	25NV02 25NV03	da 0 a 6m	C sup	21	35	24	30	350	7	80	27	489	129	324	460	B	488	34	70	64	61
		da 6 a 12m	C sup	21	35	24	30	350	7	150	27	489	129	324	460	B	488	34	100	120	87
		da 12 a 18m	C sup	21	35	24	30	350	7	280	27	489	129	324	460	B	488	34	180	224	156
		da 18 a 24m	Sa,2	21	35	21	31	0	0	0	0	385	226	338	460	B	302	104	200	173	173
		da 24 in poi	C inf	22	35	24	25	350	7	280	30	489	129	324	460	B	488	34	220	224	191

5.1 Profondità della falda

Ai fini dell'analisi dell'opera non si è considerata la presenza della falda idrica in quanto il livello di falda è posto al di sotto del piano di fondazione dell'opera.

6. ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo le normative e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio e in presenza dell'evento sismico. Tutti i carichi elementari si riferiscono a un concio longitudinale di larghezza unitaria, pertanto sono tutti definiti rispetto all'unità di lunghezza.

6.1 Pesì propri

Il peso dei differenti elementi strutturali viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato.

- Soletta di copertura;
- Soletta di fondazione;
- Piedritti.

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

Calcestruzzo armato:	$\gamma_{c.a.}$	= 25.00 kN/m ³
Rilevato:	γ_{ril}	= 20.00 kN/m ³
Ballast + armamento:	$\gamma_{ballast}$	= 18.00 kN/m ³

6.2 Permanenti non strutturali

Il peso dei carichi permanenti in copertura è stato calcolato considerando i differenti spessori di ballast e supercompattato, ciascuno per il suo peso dell'unità di volume:

$$q_{pp} = h_b \gamma_b + h_{sc} \gamma_{sc}$$

dove:

- h_b = spessore del ballast;
- γ_b = peso specifico del ballast;
- H_{sc} = spessore del super compattato;
- γ_b = peso specifico del super compattato.

6.3 Carichi mobili (traffico ferroviario)

Per quanto attiene il sovraccarico ferroviario si applica il peggiore tra il carico verticale dovuto al treno SW/2 pari a 150 kN/m x 1 e il carico verticale dovuto al treno LM71 pari a 250 kN / 1.6 m x 1.1 = 172.0 kN/m uniformemente distribuito su una larghezza trasversale di calcolo fino a livello del piano d'asse della soletta di copertura.

Per ponti di categoria A si hanno i seguenti valori del coefficiente di adattamento.

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE "α"	
	PONTI CAT. "A"	PONTI CAT. "B"
LM 71	1.1	0.83
SW / 0	1.1	0.83
SW / 2	1.0	0.83

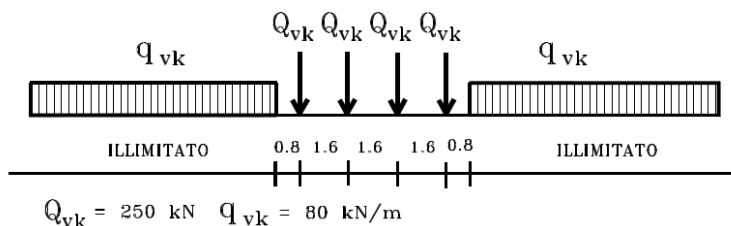
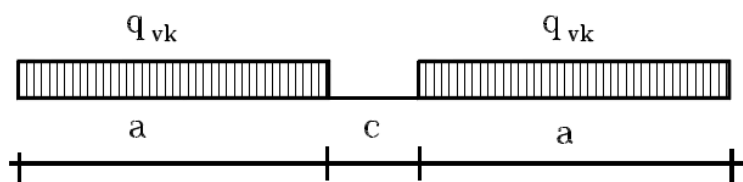


Figura 6.1 – Treno di carico LM71



Tipo di Carico	q_{vk} [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Figura 6.2– Treno di carico SW

Coefficiente di amplificazione dinamica Φ :

Le sollecitazioni e gli spostamenti determinati sulle strutture dall'applicazione statica dei treni di carico debbono essere incrementati per tener conto della natura dinamica del transito dei convogli.

Per linee a ridotto standard manutentivo Φ sarà:

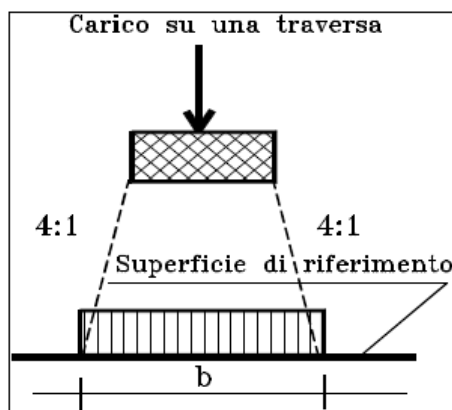
$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi - 0,2}} + 0,73 \quad \text{con la limitazione } 1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00$$

Dove:

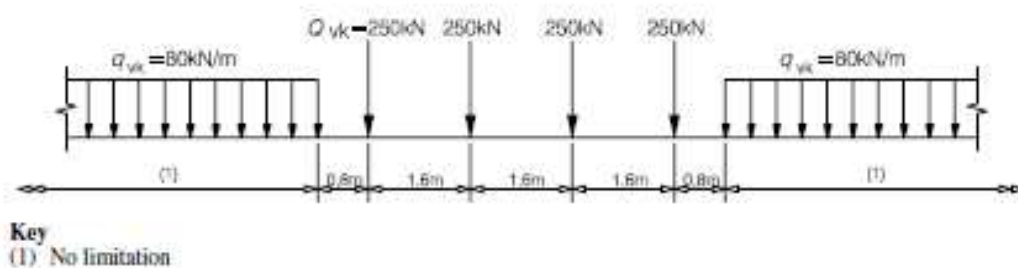
L_Φ rappresenta la lunghezza “caratteristica” in metri.

Determinazione delle larghezze di diffusione dei carichi mobili:

La diffusione dei carichi attraverso ballast avviene con pendenza 4:1, attraverso il ricoprimento con angolo di attrito mentre, nella soletta in cls con pendenza 1:1.



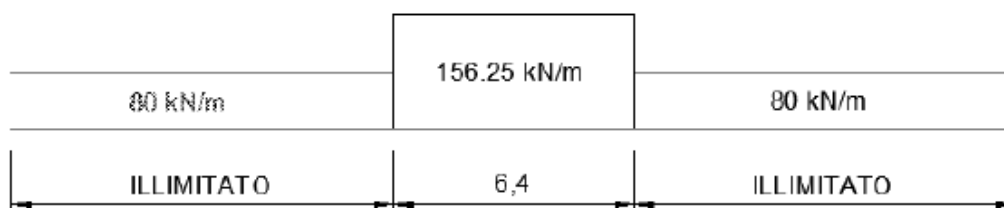
Il modello di carico LM71 citato dalle S.T.I. è definito nella norma EN 1991-2:2003/AC:2010.



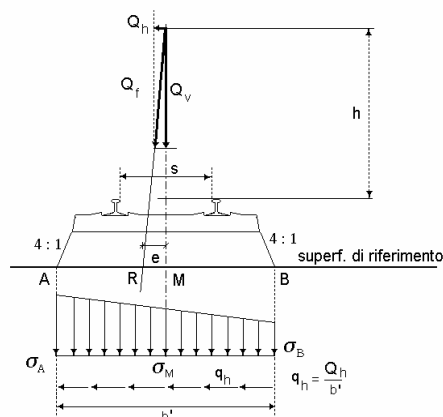
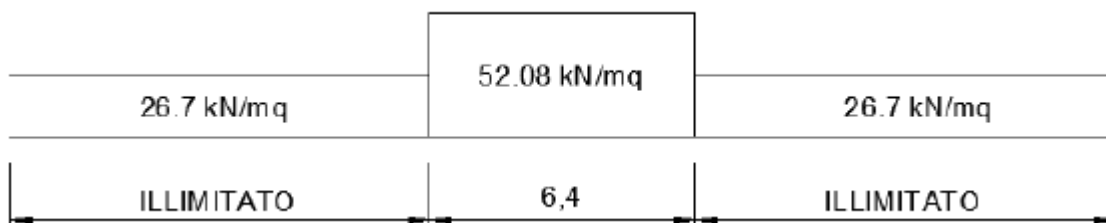
Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

Considerando i 4 carichi assiali da 250 kN e la relativa distribuzione longitudinale, il carico verticale equivalente a metro lineare agente alla quota della piattaforma ferroviaria (convenzionalmente a 70 cm dal piano del ferro) risulta pari a:

$$p = \frac{4 \times 250}{4 \times 1.60} = 156.25 \text{ kN/m}$$



Considerando la distribuzione trasversale dei carichi su una larghezza di 3.0 m secondo quanto previsto da EN 1991 – 2:2003/AC:2010, si ricava il carico equivalente unitario agente alla quota della piattaforma ferroviaria:



6.4 Azione di avviamento / frenatura

Per ogni treni di carico si associano le azioni di avviamento e frenatura agenti sulla sommità del binario, nella direzione longitudinale dello stesso. Dette forze si considerano uniformemente distribuite sulla lunghezza di binario.

I valori caratteristici considerati sono i seguenti:

- Avviamento $Q_{1a,k} = 33 \text{ [kN/m]} * L \text{ [m]}$ per LM71 ed SW2

6.5 Azione di serpeggio

La forza laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario. Tale azione si applicherà sia in rettilineo che in curva. Il valore caratteristico di tale forza sarà assunto pari a $Q_{sk}=100 \text{ kN}$. Tale valore deve essere moltiplicato per a , (se $a>1$), ma non per il coefficiente F . Questa forza laterale deve essere sempre combinata con i carichi verticali.

Tale azione viene trascurata in quanto con un modello piano non si possono considerare gli effetti trasversali.

6.6 Azione del sisma

Per tutte le opere d'arte di progetto vengono utilizzati, a vantaggio di sicurezza, i seguenti valori: $V_N=75$ anni e classe d'uso III a cui corrisponde un coefficiente d'uso $C_U = 1.5$.

La vita di riferimento V_R è quindi pari a 112.5 anni.

I parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica sono riportati di seguito.

- Classe d'uso: III
- Coefficiente d'uso $C_U = 1.5$
- Vita nominale $V_N = 75$ anni
- Categoria di suolo: B
- Condizione topografica: T1
- Fattore di struttura $q = 1$

L'azione sismica è stata calcolata per mezzo del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3 messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

I parametri per la determinazione dei punti dello spettro di risposta orizzontale e verticale sono riportati :

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☐ Ricerca per coordinate

LONGITUDINE
13.6057

LATITUDINE
37.748

☒ Ricerca per comune

REGIONE
Sicilia

PROVINCIA
Palermo

COMUNE
Lercara Friddi

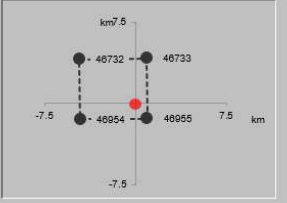
Elaborazioni grafiche
 Grafici spettri di risposta
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche
 Tabella parametri

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
☐ Sito esterno al reticolo
☒ Interpolazione su 3 nodi
☐ Interpolazione corretta

Interpolazione
 superficie rigata

Nodi del reticolo intorno al sito
 

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

Di seguito si riportano gli spettri di risposta orizzontale e verticale allo Stato limite di salvaguardia della vita SLV utilizzati per il calcolo dell'azione sismica. Con tale azione sismica agente, le forze risultanti trasmesse dall'impalcato al piano appoggi della spalla in corrispondenza della sommità del muro di testata sono riportate al paragrafo successivo, sotto le voci **Ex**, **Ey** ed **Ez**.

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE

SLO - $P_{VR} = 81\%$	68
SLD - $P_{VR} = 63\%$	113

Stati limite ultimi - SLU

SLV - $P_{VR} = 10\%$	1068
SLC - $P_{VR} = 5\%$	2193

Elaborazioni
 Grafici parametri azione
 Grafici spettri di risposta
 Tabella parametri azione

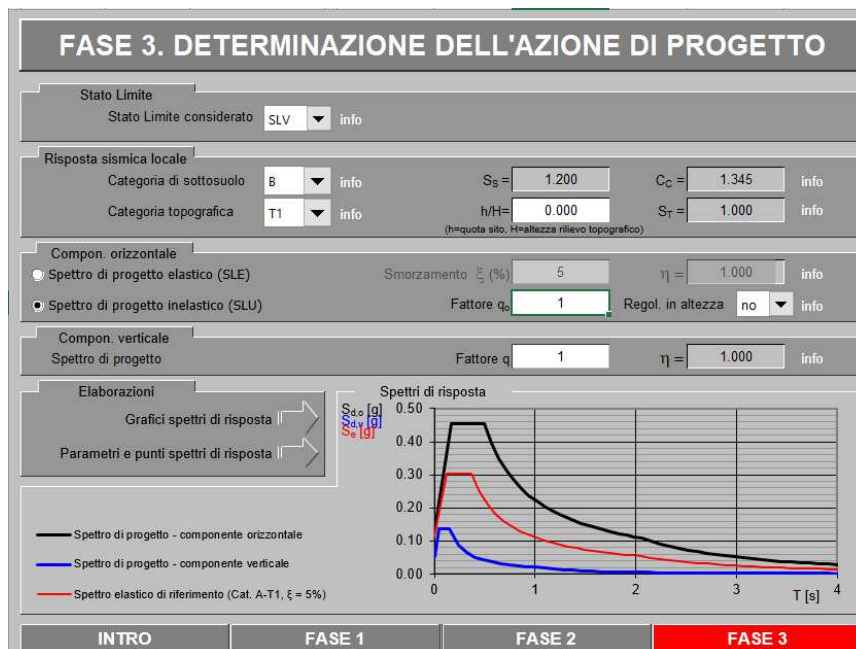
LEGENDA GRAFICO
 ---□--- Strategia per costruzioni ordinarie
 -.-.-□-.-.- Strategia scelta

Strategia di progettazione
 

INTRO FASE 1 **FASE 2** FASE 3

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA LOTTO FASE-ENTE DOCUMENTO REV. FOGLIO
RS3Z 00 D 26 CLSL2100001 B 15 di 56



Di seguito si riporta a titolo di esempio lo **spettro di progetto** per lo **Stato Limite di salvaguardia della Vita SLV** relativamente alle componenti **orizzontali**, con coefficiente di smorzamento strutturale canonico pari al 5%.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo **SLV**

Parametri indipendenti	
STATOLIMITE	SLV
a_s	0.114 g
F_s	2.652
T_c	0.366 s
S_S	1.200
C_C	1.345
S_T	1.000
q	0.800

Parametri dipendenti	
S	1.200
η	1.250
T_p	0.164 s
T_c	0.492 s
T_0	2.056 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTO-09 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 \cdot (S + 5)} \geq 0.55; \eta = 1/q \quad (\text{NTO-09 Eq. 3.2.4; § 3.2.3.5})$$

$$T_{01} = T_c / 3 \quad (\text{NTO-07 Eq. 3.2.6})$$

$$T_c = C_C \cdot T_c' \quad (\text{NTO-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_{01} = 4.0 \cdot a_s / g + 1.6 \quad (\text{NTO-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTO-09 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_{01} \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot E_1 \left(\frac{T}{T_{01}} + \frac{1}{\eta \cdot E_1} \left(1 - \frac{T}{T_{01}} \right) \right)$$

$$T_{01} \leq T < T_c \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot E_1$$

$$T_c \leq T < T_0 \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot E_1 \left(\frac{T_c}{T} \right)$$

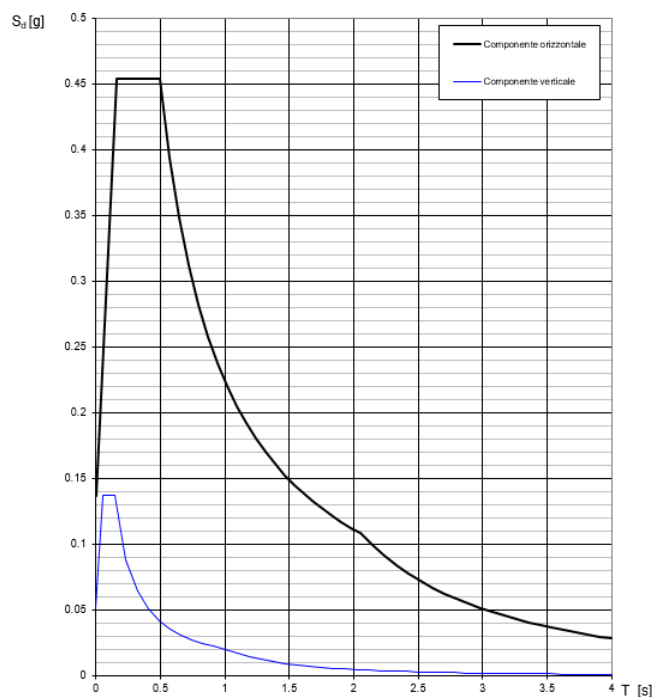
$$T_0 \leq T \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot E_1 \left(\frac{T_c}{T} \right)$$

La spettro di progetto $S_d(T)$ per la verifica agli Stati Limite Ultimi è ottenuta dalle espressioni della spettro elastico $S_e(T)$ moltiplicando con η , dove q il fattore di struttura. (NTO-09 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

T [s]	S_e [g]
0.000	0.137
0.164	0.453
0.492	0.453
0.567	0.394
0.641	0.348
0.716	0.312
0.790	0.283
0.865	0.258
0.939	0.233
1.013	0.220
1.088	0.205
1.162	0.192
1.237	0.180
1.311	0.170
1.386	0.161
1.460	0.153
1.535	0.146
1.609	0.139
1.684	0.132
1.758	0.127
1.832	0.122
1.907	0.117
1.982	0.113
2.056	0.109
2.149	0.099
2.241	0.091
2.334	0.084
2.426	0.078
2.519	0.072
2.611	0.067
2.704	0.063
2.797	0.059
2.889	0.055
2.982	0.052
3.074	0.049
3.167	0.046
3.259	0.042
3.352	0.041
3.445	0.039
3.537	0.037
3.630	0.035
3.722	0.033
3.815	0.032
3.907	0.030
4.000	0.029

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLV



6.7 Ritiro del calcestruzzo

Gli effetti del ritiro del calcestruzzo sono valutati impiegando i coefficienti indicati al punto 11.2.10.6 delle NTC2018. La deformazione totale da ritiro è data dalla somma della deformazione per ritiro da essiccamento e della deformazione da ritiro autogeno. Il ritiro è stato applicato mediante una variazione termica equivalente pari a 10° , ed un umidità relativa del 75% a 7 gg.

Il fenomeno del ritiro è stato applicato solo alla soletta di copertura nel caso dello scatolare mentre viene trascurato nel muro.

6.8 Variazione termica

La variazione termica applicata sulla struttura è pari a $\Delta T = +15^\circ\text{C}$, con un variazione termica a aggiuntiva a farfalla pari a $\Delta T = +5^\circ\text{C}$ applicata sulla soletta di copertura. Per ricoprimenti superiori ad 1,5m non si applica alcuna variazione termica.

Per il coefficiente di dilatazione termica si assume:

$$\alpha = 10 \times 10^{-6} = 0.00001$$

6.9 Spinta statica del terreno

Le spinte del terreno a monte degli elementi verticali sono calcolate con la teoria di Rankine, con distribuzione triangolare delle tensioni e conseguente risultante della spinta al metro pari a $S = 1/2 \cdot k_0 \cdot \gamma \cdot H^2$, applicata ad 1/3 dal basso.

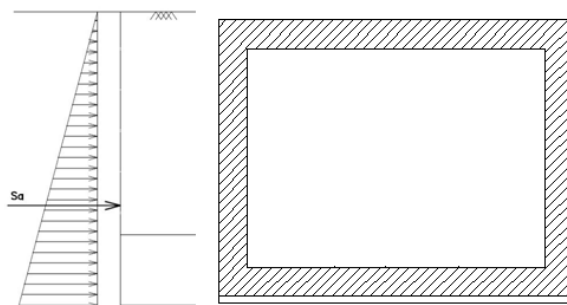


Figura 6.3 – Schema per il calcolo degli effetti della spinta statica del terreno

La spinta in condizioni di esercizio viene calcolata con il coefficiente di spinta a riposo $k_0 = 1 - \sin \varphi'$, dove φ' è l'angolo di attrito assunto. In caso di falda il peso specifico del terreno è stato sostituito da quello efficace.

6.10 Spinta dovuta al sovraccarico accidentale

Per considerare la presenza di un sovraccarico da traffico gravante a tergo, si considera un carico uniformemente distribuito. Il valore della spinta risultante al metro è dunque pari a $S=k_0 \cdot q \cdot H$, con punto di applicazione posizionato a metà dell'altezza dell'elemento su cui insiste.

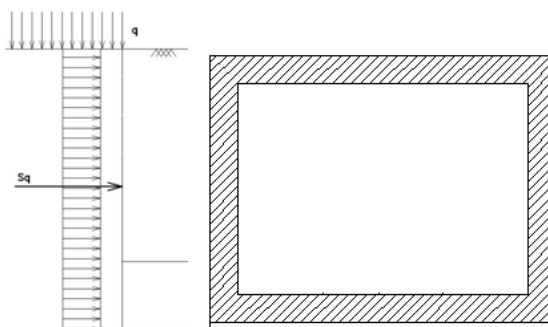


Figura 6.4– Schema per il calcolo degli effetti della spinta dovuta al sovraccarico accidentale

6.11 Incremento di Spinta in condizione sismiche

In condizione sismica si considera un incremento della spinta del terreno rispetto alla condizione statica in esercizio. La sovraspinta sismica è calcolata con la teoria di Wood, risultando in un valore di spinta al metro, distribuito uniformemente sull'intera altezza del piedritto, da applicare ad una quota pari ad $H/2$.

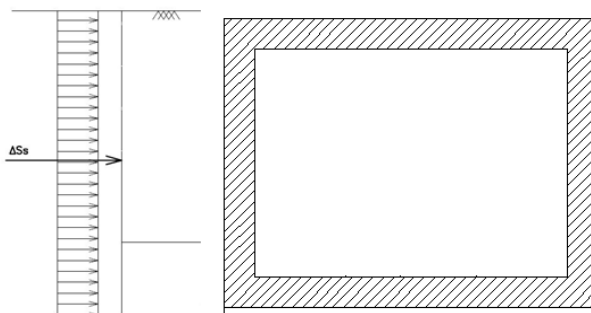


Figura 6.5– Schema per il calcolo degli effetti della sovraspinta sismica

	PROGETTO DEFINITIVO DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA–CATANIA–PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2					
SL21 – Prolungamento sottovia scatolare esistente – km 28+878 <i>Relazione di calcolo sottovia</i>	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL2100001	REV. B	FOGLIO 18 di 56

7. COMBINAZIONE DEI CARICHI

In linea con quanto riportato nel quadro normativo vigente, le azioni descritte nei paragrafi precedenti, sono combinate nel modo seguente:

combinazione fondamentale (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

combinazione sismica:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

combinazione eccezionale:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

combinazione Rara (SLE irreversibile):

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

combinazione Frequente (SLE reversibile):

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

combinazione Quasi Permanente (SLE per gli effetti a lungo termine):

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Gli effetti dei carichi verticali dovuti alla presenza dei convogli vanno sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti indicati nella tabella seguente.

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6; 0,4)	↓	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	fessurazione
☐ Azione dominante (1) Includendo tutti i fattori ad essa relativi (Φ, α , ecc.) (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.						

Tab. 1 – Valutazione dei carichi da traffico

Per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali ed i coefficienti di combinazione ψ delle tabelle seguenti.

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.
⁽⁵⁾ Aliquota di carico da traffico da considerare.
⁽⁶⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁷⁾ 1,20 per effetti locali

Tab. 2 – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, Eccezionali e Sismica

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

 Tab. 3 – Coefficienti di combinazione ψ delle azioni

	PROGETTO DEFINITIVO DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA–CATANIA–PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2					
SL21 – Prolungamento sottovia scatolare esistente – km 28+878 <i>Relazione di calcolo sottovia</i>	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL2100001	REV. B	FOGLIO 20 di 56

8. VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

- coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo: 1.50;
- coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre: 1.15.

Il paragrafo in oggetto illustra nel dettaglio i criteri generali adottati per le verifiche strutturali e geotecniche condotte nel progetto. Ulteriori dettagli di carattere specifico, laddove impiegati, sono dichiarati e motivati nelle relative risultanze delle verifiche.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;
- verifiche per gli stati limite ultimi a taglio;
- verifiche per gli stati limite di esercizio.

8.1 Verifiche per gli stati limite ultimi a flessione-presso-flessione

Allo stato limite ultimo, le verifiche a flessione o presso-flessione sono condotte confrontando (per le sezioni più significative) le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando di conseguenza il corrispondente fattore di sicurezza.

8.2 Verifica agli stati limite ultimi a taglio

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dal DM17/01/2018, per elementi con armatura a taglio verticali.

Si fa, pertanto, riferimento i seguenti valori della resistenza di calcolo:

- Resistenza di progetto dell'elemento privo di armatura a taglio:

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$$

- Resistenza di progetto a “taglio trazione”:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

- Resistenza di progetto a “taglio compressione”:

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v_{fcd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL2100001	REV. B	FOGLIO 21 di 56
------------------	-------------	-------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Nelle espressioni precedenti i simboli hanno i seguenti significati:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \text{ con } d \text{ in mm};$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02;$$

A_{sl} è l'area dell'armatura tesa;

b_w è la larghezza minima della sezione in zona tesa;

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0.2 \cdot f_{cd};$$

N_{Ed} è la forza assiale nella sezione dovuta ai carichi;

A_c è l'area della sezione di calcestruzzo;

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2};$$

$1 \leq \cot \vartheta \leq 2.5$ è l'inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave

A_{sw} è l'area della sezione trasversale dell'armatura a taglio;

s è il passo delle staffe;

α è l'angolo d'inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;

$v f_{cd}$ è la resistenza di progetto a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ($v=0.5$);

$\alpha_c = 1$ coefficiente maggiorativo per membrature non compresse.

	PROGETTO DEFINITIVO DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA–CATANIA–PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2					
SL21 – Prolungamento sottovia scatolare esistente – km 28+878 <i>Relazione di calcolo sottovia</i>	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL2100001	REV. B	FOGLIO 22 di 56

8.3 Verifica agli stati limite d'esercizio

Si effettuano le seguenti verifiche agli stati limite di esercizio:

- stato limite delle tensioni in esercizio;
- stato limite di fessurazione.

Nel primo caso, si esegue il controllo delle tensioni nei materiali supponendo una legge costitutiva tensioni-deformazioni di tipo lineare. In particolare si controlla la tensione massima di compressione del calcestruzzo e di trazione dell'acciaio, verificando che:

$$\sigma_c < 0.55 f_{ck} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara);}$$

$$\sigma_c < 0.40 f_{ck} \text{ per combinazione di carico quasi permanente;}$$

$$\sigma_s < 0.75 f_{yk} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara).}$$

Nel secondo caso, si verifica che le aperture delle fessure siano inferiori al valore limite dell'apertura delle fessure nella combinazione caratteristica Rara. I valori nominali di riferimento sono:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

9. ANALISI STRUTTURALE

Le analisi sono state condotte mediante l'ausilio del SAP2000, un Codice di calcolo F.E.M. (Finite Element Method) capace di gestire analisi lineari e non lineari ed analisi sismiche con integrazione al passo delle equazioni nel tempo. Dal modello sono state dedotte, per le combinazioni di calcolo statiche e sismiche descritte in precedenza, le sollecitazioni complessive agenti sugli elementi strutturali al fine di procedere con le verifiche di sicurezza previste dalle Normative di riferimento.

Il calcolo della struttura è stato effettuato considerando una striscia di calcolo pari ad 1m disposta ortogonalmente all'asse longitudinale dello scatolare. In caso di obliquità $\varnothing$ dello scatolare rispetto alla linea ferroviaria il calcolo è stato eseguito analizzando sempre una striscia di larghezza unitaria, assumendo però come luce di calcolo quella misurata in parallelo alla linea ferroviaria tra gli assi dei piedritti valutati lungo lo "spessore corrente" (spessore corrente=spessore piedritto/cos $\varnothing$). In tal caso le stesse verifiche di resistenza sono state condotte con riferimento allo spessore corrente.

Convenzione assi

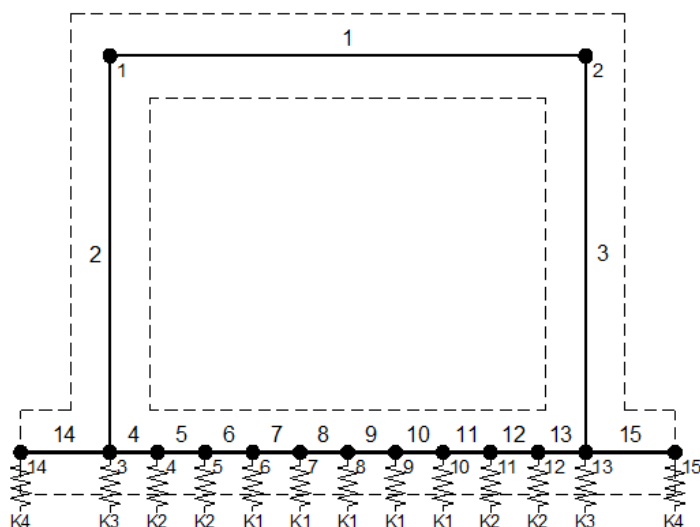
x = asse trasversale dello scatolare

y = asse longitudinale dello scatolare

z = asse verticale dello scatolare

9.1 Modellazione strutturale : Scatolare

Il modello di calcolo attraverso il quale viene discretizzata la struttura è quello di telaio chiuso. Per simulare il comportamento del terreno di fondazione vengono inserite molle alla Winkler.



	PROGETTO DEFINITIVO DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA–CATANIA–PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2					
SL21 – Prolungamento sottovia scatolare esistente – km 28+878 <i>Relazione di calcolo sottovia</i>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3Z	00	D 26	CLSL2100001	B	24 di 56

La soletta inferiore viene divisa in elementi per poter schematizzare, tramite molle applicate, l'interazione terreno- struttura.

Per la definizione delle precedenti costanti si è fatto riferimento alla caratterizzazione geotecnica a disposizione.

I valori di resistenza del terreno assunti nei calcoli che seguono sono quelli riferiti al primo strato della tabella riportata al paragrafo 5.

Per la rigidezza delle molle, nell'opera in esame si considera un modulo di reazione verticale Kw pari a 1800 kN/m³. Tale valore viene valutato tramite la teoria di Bowles, note le dimensioni della fondazione dell'opera e il modulo elastico del terreno di fondazione:

$$k_n = \frac{E}{(1-\nu^2) \cdot B \cdot c_f}$$

Dove:

E	modulo elastico del terreno
ν	coefficiente di Poisson
B	larghezza della fondazione
L	lato maggiore della fondazione
Ct	fattore di forma (Bowles, 1960)
Kw	coefficiente di sottofondo alla Winkler

Con questo valore si ricavano i valori delle singole molle:

Interasse molle	i	(0.70/2 + 6.90 + 0.70/2) / 10 =	0.76 m
Molle centrali	K1	1800 · 0.76 =	1 368 kN/m
Molle intermedie	K2	1.5 · 1800 · 0.76 =	2 052 kN/m
Molle laterali	K3	2.0 · 1800 · (0.76/2 + 0.70/2) =	2 628 kN/m
Molle risolto	K4	-	0 kN/m

La rigidezza delle molle in corrispondenza dei piedritti è stata aumentata, seguendo le indicazioni riportate nella letteratura tecnica, al fine di tenere in conto l'irrigidimento apportato dai piedritti al solettone di fondo.

9.2 Analisi dei carichi

Geometria

Caratteristiche materiali e terreno

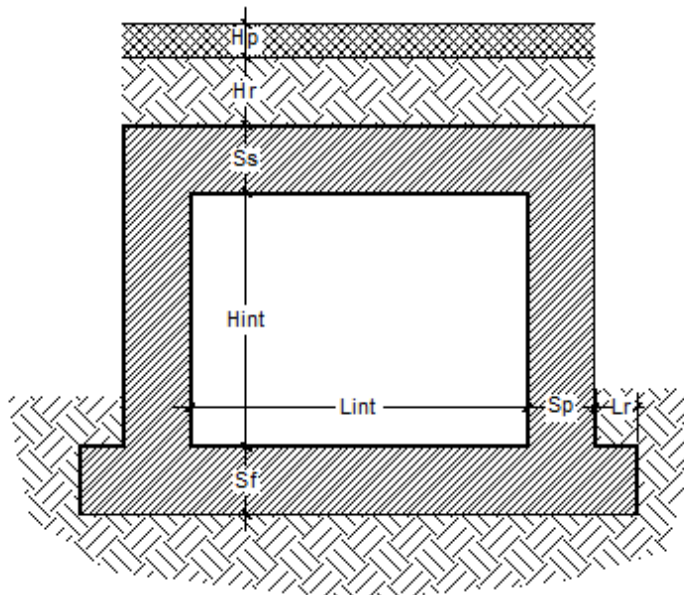
Calcestruzzo armato - Peso specifico	γ		25	kN/m ³
Calcestruzzo armato - Tipo			C30/37	
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica	R_{ck}		37	N/mm ²
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica	f_{ck}	$0.83 \cdot 37 =$	30.7	N/mm ²
Calcestruzzo armato - Modulo elastico	E		33000	N/mm ²
Ballast - Peso specifico	γ_b		18	kN/m ³
Terreno del rilevato - Peso specifico	γ		20	kN/m ³
Terreno del rilevato - Angolo di attrito	φ		35	°
Terreno di fondazione	K_w		1800	kN/m ³
Condizioni ambientali per ver. a fessurazione			aggressive	

Ricoprimento

Spessore ballast+armamento	Hb	0.77	m
Spessore medio traversina+binario	Ht	0.40	m
Spessore ballast sotto la traversina		0.37	m
Spessore del rinterro	Hr	1.10	m

Geometria

Spessore soletta superiore	Ss	0.70	m
Spessore soletta di fondazione	Sf	0.80	m
Spessore piedritti	Sp	0.70	m
Altezza netta	Hint	5.50	m
Larghezza netta	Lint	6.90	m
Lunghezza risvolti sol. inf.	Lr	0.00	m



Tab. 4: Geometria del modello

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
 esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLSL2100001	B	26 di 56

Azioni elementari applicate

Carichi permanenti (Condizione *PERM*)

Soletta superiore					
Peso ballast	Ps	$0.77 \cdot 18 =$		13.86	kN/m ²
Peso del rinterro	Pr	$1.10 \cdot 20 =$		22.00	kN/m ²
Totale				35.86	kN/m²
Risvolti soletta inferiore					
Peso ballast	Ps	-		0.00	kN/m ²
Peso del rinterro	Pr	-		0.00	kN/m ²
Totale				0.00	kN/m²

Carichi accidentali sulla copertura LM71 (Condizioni *ACC-M71* e *ACC-T71*)

Coefficiente dinamico					
Lunghezza caratteristica per coeff. din.	L_Φ	$= 1.3 \cdot 1/3 \cdot (5.85 + 7.60 + 5.85)$		8.36	m
Coefficiente dinamico	Φ_3	$= 0.9 \cdot (2.16 / (\text{radq}(8.36) - 0.2) + 0.73)$		1.38	
Qvk					
Coefficiente di adattamento	α			1.10	
Larghezza traversa	Lt			2.40	m
Impronta di carico y	Ld1	$2.40 + 2 \times (0.37/4 + 1.10 \times \text{TAN}(35^\circ) + 0.70/2) =$		4.83	m
Impronta di carico x	Ld2	$0.8 + 1.6 + 1.6 + 1.6 + 0.8 =$		6.40	m
Carico Qvk (totale)				1000	kN
Carico Qvk (ripartito)		$1.1 \cdot 1.38 \cdot 1000 / (4.83 \cdot 6.40) =$		49.12	kN/m²
qvk					
Carico qvk				80	kN/m
Carico qvk (ripartito)		$1.1 \cdot 1.38 \cdot 80 / 4.83 =$		25.15	kN/m²

Carichi accidentali sulla copertura SW/2 (Condizioni *ACC-MSW* e *ACC-TSW*)

Coefficiente di adattamento	α			1.00	
Carico qvk				150	kN/m
Carico qvk (ripartito)		$1 \cdot 1.38 \cdot 150 / 4.83 =$		42.87	kN/m²

Per il calcolo della lunghezza caratteristica si fa riferimento a:

Caso 5.3 pag. 41 di 481 Manuale Parte II - Sezione II - Ponti

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
 esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLSL2100001	B	27 di 56

Avviamento e frenatura (Condizione *AVV*)

Q _{1ak} (= 33 / Ld ₁)	33 / 4.83 =	6.84	kN/m²
--	-------------	-------------	-------------------------

Azione termica (Condizione *TERM*)

Variazione termica uniforme	ΔT_U	15	°
Variazione termica a farfalla	ΔT_F	5	°
Variazione termica uniforme di calcolo	ΔT_{U*} 15 / 2 =	7.50	°
Variazione termica a farfalla di calcolo	ΔT_{F*} 5 / 2 =	2.50	°

Ritiro (Condizione *RITIRO*)

Ritiro applicato alla sol. Superiore	ΔT_R	-10	°
--------------------------------------	--------------	------------	---

Spinta del terreno (Condizioni *SPTSX* e *SPTDX*)

K0	1 - sen (35°) =	0.426	
Spinta alla quota di estradosso sol. sup.	p1 0.426 · 35.86 =	15.29	kN/m ²
Spinta in asse sol. sup.	p2 0.426 · (35.86 + 20 · 0.70/2) =	18.28	kN/m²
Spinta in asse sol. inf.	p3 0.426 · [35.86 + 20 · (0.70+5.50+0.80/2)] =	71.58	kN/m²
Spinta alla quota di intradosso sol. inf.	p4 0.426 · [35.86 + 20 · (0.70+5.50+0.80)] =	74.99	kN/m ²
Spinta semispessore sol. sup.	F1 (15.29+18.28)/2 · 0.70/2	5.87	kN/m
Spinta semispessore sol. inf.	F2 (71.58+74.99)/2 · 0.80/2	29.31	kN/m

Spinta del carico accidentale LM71 (Condizioni *SPACCSX* e *SPACCDX*)

Spinta dovuta al q1	p 0.426 · 1.1 · 1000 / (4.83 · 6.40) =	15.19	kN/m²
---------------------	--	--------------	-------------------------

Spinta del carico accidentale SW/2 (Condizioni *SPACCSX* e *SPACCDX*)

Spinta dovuta al q1	p 0.426 · 1 · 150 / (4.83 · 6.40) =	2.07	kN/m²
---------------------	-------------------------------------	-------------	-------------------------

Sisma orizzontale (Condizione *SISMAH*)

Stato limite	Salvaguardia della vita - SLU -	SLV	
Vita nominale	V_N	75	anni
Classe d'uso		III	
Coefficiente C _U	C _U	1.5	
Periodo di riferimento	V _R	112.5	anni
Accelerazione orizzontale	a _g /g	0.114	
Amplificazione spettrale	F ₀	2.652	
Categoria sottosuolo	A, B, C, D, E	B	
Coeff. Amplificazione stratigrafica	S _s	1.200	
Coeff. Amplificazione topografica	S _t	1	
Coefficiente S	S = S _s · S _t	1.200	
accelerazione orizzontale max	a _{max} /g = a _g /g · S	0.137	
Fattore di struttura	q	1.00	
Coeff. sismico orizzontale	k _h = a _{max} /g	0.137	
Coeff. sismico verticale	k _v = ±0.5 · k _h	0.068	

Carico accidentale totale gravante sulla cop.	1.1 · 1000 / (4.83 · 6.40) · 6.40 + 1.1 · 80 / 4.83 · 8.30 =	379.3	kN/m
---	--	-------	------

Forza orizz. sulla sol. di cop.	FHs 0.137 · (0.70 · 25 + 35.86 + 0.2 · 379.3 / 7.60) / 1.00 =	8.67	kN/m²
Forza orizz. sui piedritti	FHp 0.137 · (0.70 · 25) / 1.00 =	2.39	kN/m²

Sisma verticale (Condizione *SISMAV*)

Forza vert. sulla sol. di cop.	FVs 0.068 · (0.70 · 25 + 35.86 + 0.2 · 379.3 / 7.60) / 1.00 =	4.33	kN/m²
--------------------------------	---	-------------	-------------------------

Spinta del terreno in fase sismica (Condizione *SPSDX*)

Risultante della spinta sismica	$\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot (H_{int} + S_s + S_f + H_b + H_r)^2 = 0.137 \cdot 20 \cdot 8.87^2$	215.3	kN/m
Pressione risultante	$\Delta p_E = \Delta S_E / H = 215.3 / 6.25$	34.44	kN/m²

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA LOTTO FASE-ENTE DOCUMENTO REV. FOGLIO
RS3Z 00 D 26 CLSL2100001 B 28 di 56

9.3 Combinazioni

N	PERM	PERM-G2	ACC-M71	ACC-T71	AVV	SPTSX	SPTDX	SPGSX71	SPQDX71	TERM	RITIRO	SISMAH	SISMAV	SPSDX	ACC-SW	SPGSXSW	SPQDXSW
01 01S1-11M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
02 02S1-11T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
03 03S1-12M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
04 04S1-12T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
05 05S1-13M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
06 06S1-13T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
07 07S1-14-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
08 08S1-15-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
09 09S1-16S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.00	1.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0	0
10 10S1-17S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.35	1.35	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	1.45	1.45
11 11S1-18S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.00	1.35	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0	1.45
12 12S1-19S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.35	1.35	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0	1.45	1.45
13 13S1-20S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.00	1.35	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	1.45
14 14S1-21M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
15 15S1-21T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
16 16S1-22M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
17 17S1-22T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
18 18S1-23M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
19 19S1-23T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
20 20S1-24-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
21 21S1-25-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
22 22S1-26S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	0	0
23 23S1-27S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	1.45	1.45
24 24S1-28S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	0	1.45
25 25S1-29S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	1.45	1.45
26 26S1-30S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	1.45
27 27S1T11M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
28 28S1T11T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
29 29S1T12M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
30 30S1T12T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
31 31S1T13M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.35	0	1.16	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
32 32S1T13T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.35	0	1.16	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
33 33S1T14-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
34 34S1T15-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.16	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
35 35S1T16S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0	0	1.16	0	0
36 36S1T17S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.35	1.35	0	0	1.5	0	0	0	0	1.16	1.16	1.16
37 37S1T18S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.35	0	0	1.5	0	0	0	0	1.16	0	1.16
38 38S1T19S	1.35	1.5	0	0	0	1.35	1.35	0	0	1.5	0	0	0	0	0.00	1.16	1.16
39 39S1T20S	1.35	1.5	0	0	0	1.00	1.35	0	0	1.5	0	0	0	0	0.00	0	1.16
40 40S1T21M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	0.00	0.00	0.00
41 41S1T21T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	0.00	0.00	0.00
42 42S1T22M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.35	0	0	0	0.00	0.00	0.00
43 43S1T22T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.35	0	0	0	0.00	0.00	0.00
44 44S1T23M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.35	0	0	0	0.00	0.00	0.00
45 45S1T23T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.35	0	0	0	0.00	0.00	0.00
46 46S1T24-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.35	0	0	0	0.00	0.00	0.00
47 47S1T25-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.35	0	0	0	0.00	0.00	0.00
48 48S1T26S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	1.16	0	0
49 49S1T27S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.35	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	1.16	1.16	1.16
50 50S1T28S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	1.16	0	1.16
51 51S1T29S	1.35	1.5	0	0	0	1.35	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	0	1.16	1.16
52 52S1T30S	1.35	1.5	0	0	0	1.00	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	0	0	1.16
53 53S3-11M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
54 54S3-11T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
55 55S3-12M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
56 56S3-12T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
57 57S3-13M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
58 58S3-13T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
59 59S3-14S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	1.45	0	0
60 60S3-15S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.35	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0	1.45	1.45	1.45
61 61S3-16S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0	1.45	0	1.45
62 62S3-21M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
63 63S3-21T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
64 64S3-22M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.35	1.35	1.16	1.16	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
65 65S3-22T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.35	1.35	1.16	1.16	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
66 66S3-23M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.35	0	1.16	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
67 67S3-23T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.35	0	1.16	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
 esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA LOTTO FASE-ENTE DOCUMENTO REV. FOGLIO
 RS3Z 00 D 26 CLSL2100001 B 29 di 56

N	PERM	PERM-G2	ACC-M71	ACC-T71	AVV	SPTSX	SPTDX	SPQSX71	SPQDX71	TERM	RIIRO	SISMAH	SISMAV	SPSDX	ACC-SW	SPQSXSW	SPQDXSW
68 68S3-24S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	0	0
69 69S3-25S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	1.16	1.16
70 70S3-26S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	0	1.16
71 71SSS1--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	0	1	0.3	1	0	0	0
72 72SSS2--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	0	1	-0.3	1	0	0	0
73 73SSS3--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	0	0.3	1	0.3	0	0	0
74 74SSS4--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	0	0.3	-1	0.3	0	0	0
75 75SSS5--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	1	0.3	1	0	0	0
76 76SSS6--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	1	-0.3	1	0	0	0
77 77SSS7--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	0.3	1	0.3	0	0	0
78 78SSS8--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	0.3	-1	0.3	0	0	0
79 79SSS9S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	0	1	0.3	1	0.2	0	0.2
80 80SSS10S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	0	1	-0.3	1	0.2	0	0.2
81 81SSS11S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	0	0.3	1	0.3	0.2	0	0.2
82 82SSS12S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	0	0.3	-1	0.3	0.2	0	0.2
83 83SSS13S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	1	0.3	1	0.2	0	0.2
84 84SSS14S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	1	-0.3	1	0.2	0	0.2
85 85SSS15S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	0.3	1	0.3	0.2	0	0.2
86 86SSS16S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	0.3	-1	0.3	0.2	0	0.2
87 87R3-11M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0
88 88R3-11T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0
89 89R3-12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0
90 90R3-12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0
91 91R3-13M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0
92 92R3-13T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0
93 93R3-14S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	0.6	0	0	0	0	0.8	0	0
94 94R3-15S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0.6	0	0	0	0	0.8	0.8	0.8
95 95R3-16S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	0.6	0	0	0	0	0.8	0	0.8
96 96R3-21M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
97 97R3-21T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
98 98R3-22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
99 99R3-22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
100 100R3-23M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
101 101R3-23T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
102 102R3-24S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0	0
103 103R3-25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
104 104R3-26S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0	0.8
105 105R1T11M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
106 106R1T11T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
107 107R1T12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
108 108R1T12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
109 109R1T13M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
110 110R1T13T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
111 111R1T14S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	1	0	0	0	0	0.8	0	0
112 112R1T15S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0.8	0.8	0.8
113 113R1T16S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	1	0	0	0	0	0.8	0	0.8
114 114R1T21M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
115 115R1T21T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
116 116R1T22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
117 117R1T22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
118 118R1T23M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
119 119R1T23T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
120 120R1T24S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0
121 121R1T25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
122 122R1T26S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0.8

dove:

PERM : carichi permanenti
PERM-G2 : carichi permanenti non strutturali
ACC-M71 : carichi da traffico concentrato LM71 (disposizione per massimizzare il momento)
ACC-T71 : carichi da traffico concentrato LM71(disposizione per massimizzare il taglio)
ACC-SW : carichi da traffico concentrato SW/2
AVV : avviamento
SPTSx : spinta del terreno sulla parete sx

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLSL2100001	B	30 di 56

SPTDx : spinta del terreno sulla parete dx
SPQSx71 : spinta del carico accidentale LM71 sulla parete sx
SPQDx71 : spinta del carico accidentale LM71 sulla parete dx
TERM : termica
RITIRO : ritiro
SISMAH : azione sismica
SISDX : incremento sismico della spinta del terreno
SPQSxSW : spinta del carico accidentale SW/2 sulla parete sx
SPQDxSW : spinta del carico accidentale SW/2 sulla parete dx

9.4 Sollecitazioni

Nella successiva figura vengono rappresentate le sezioni dimensionate e verificate dello scatolare.

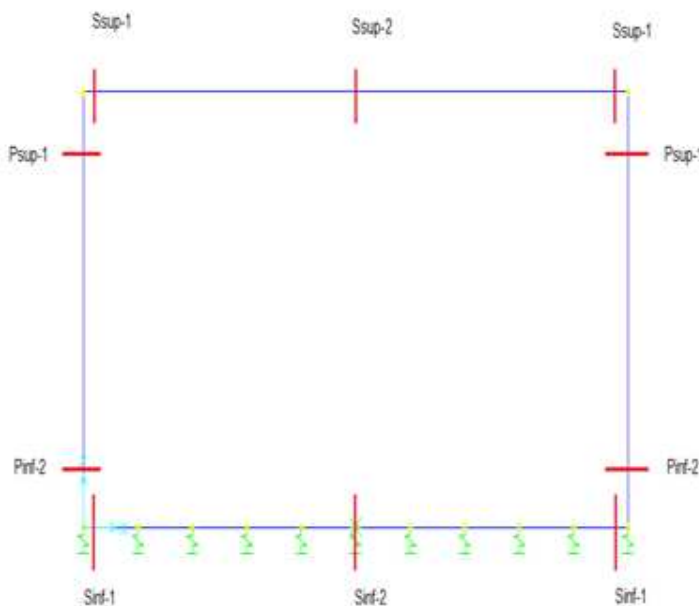


Figura 9.1 - Sezioni di verifica

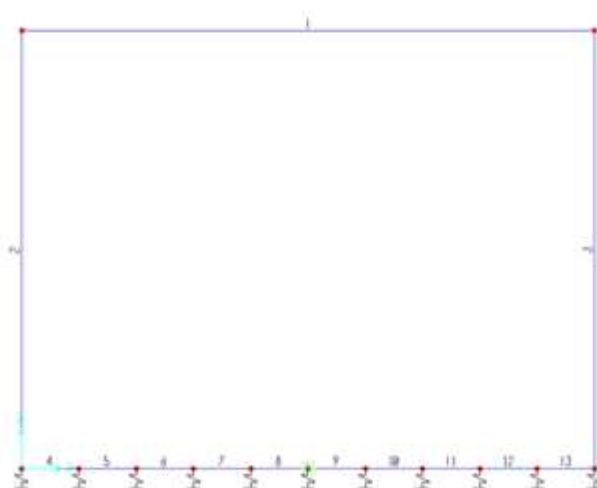


Figura 9.2 - Nomenclatura frame

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLSL2100001	B	32 di 56

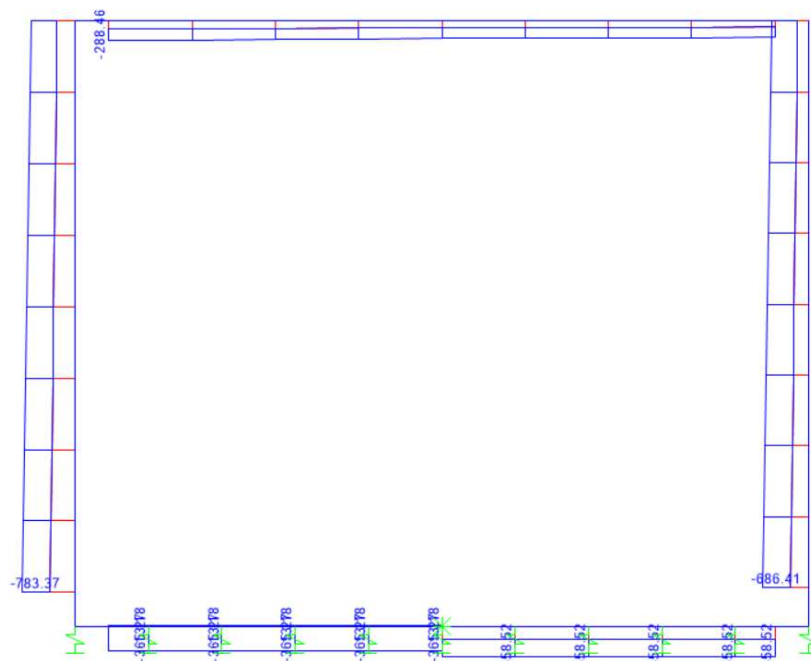


Figura 9.3 - Sforzo Normale – Involuppo SLU

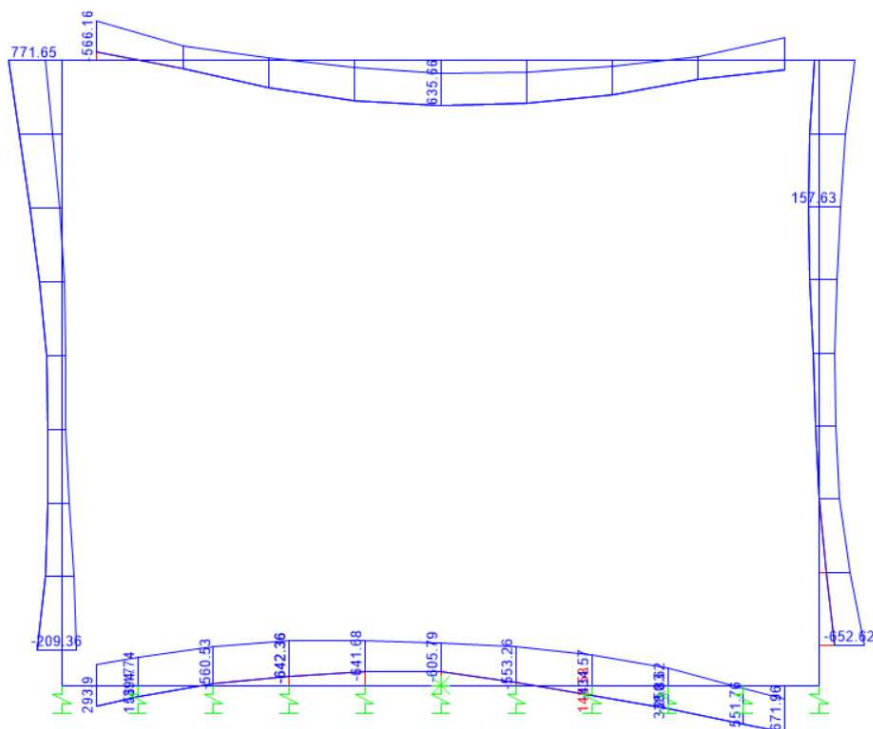


Figura 9.4 - Momento flettente – Involuppo SLU

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLSL2100001	B	33 di 56

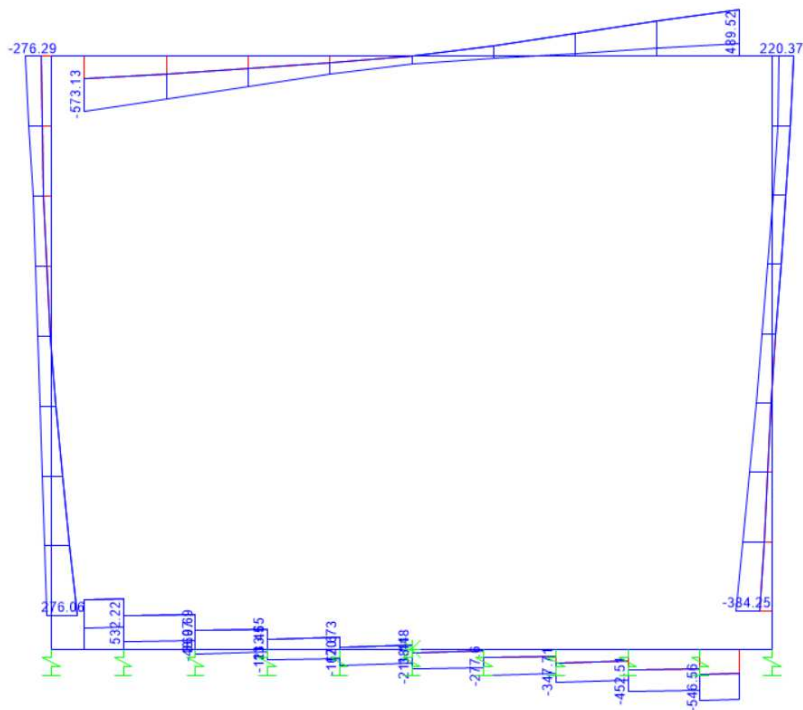


Figura 9.5 - Taglio – Involuppo SLU

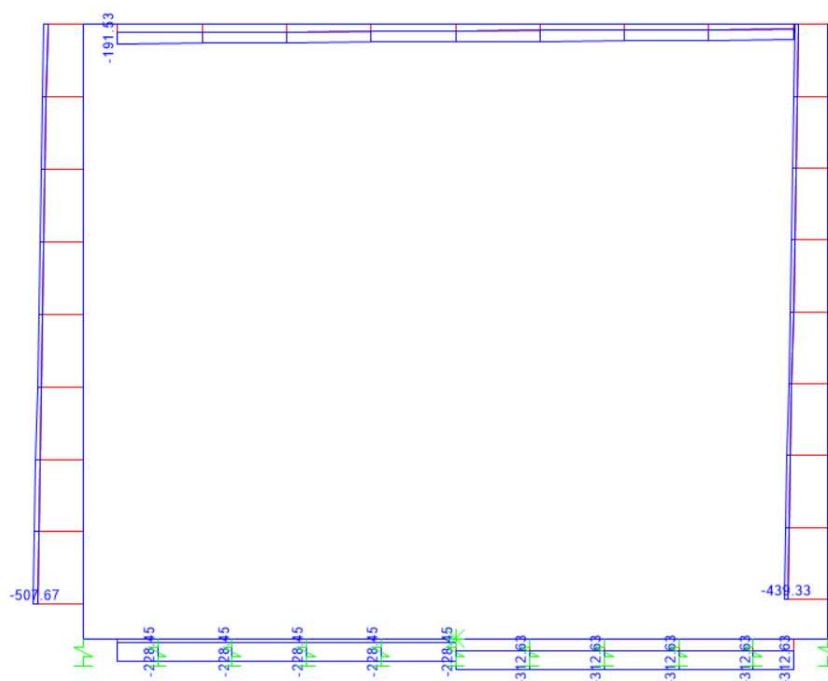


Figura 9.6 - Sforzo Normale – Involuppo SLE-Rara

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLSL2100001	B	34 di 56

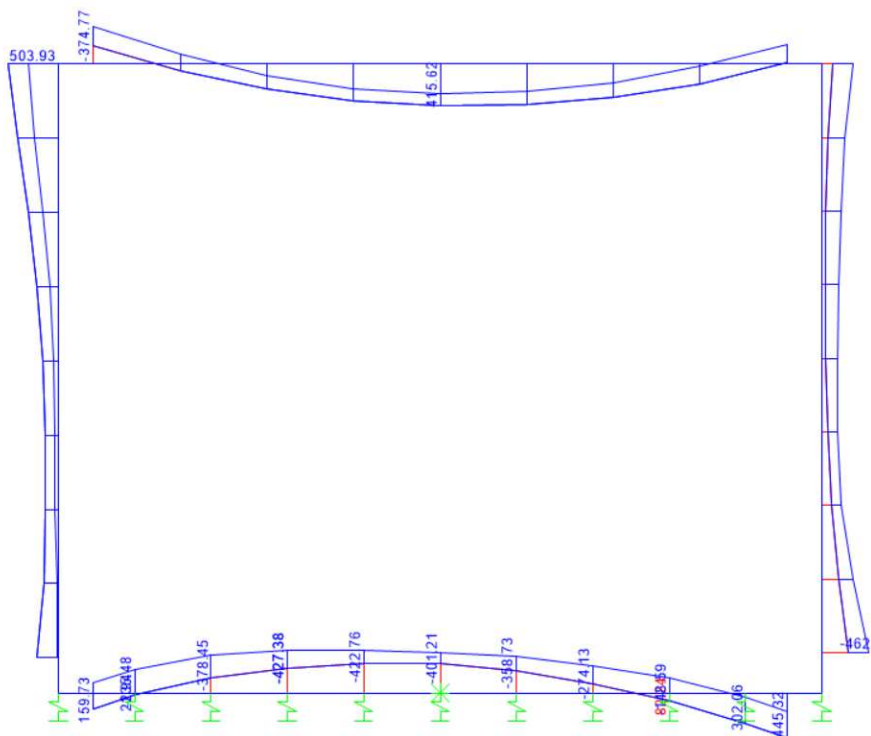


Figura 9.7 - Momento flettente – Involuppo SLE-Rara

9.5 Verifiche strutturali

9.5.1 Verifica piedritti

Sezione: 70 x 100 cm

Armatura a flessione:

- Sommità (Pied-Sommità)

Armatura tesa

ϕ 26/20 + ϕ 26/40 cm

Armatura compressa

ϕ 26/20 + ϕ 26/40 cm

- Spiccato (Pied-Spicc)

Armatura tesa

ϕ 26/20 + ϕ 26/40 cm

Armatura compressa

ϕ 26/20 + ϕ 26/40 cm

Armatura a taglio:

Spille ϕ 12/20x40 cm.

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA LOTTO FASE-ENTE DOCUMENTO REV. FOGLIO
RS3Z 00 D 26 CLSL2100001 B 36 di 56

• Verifica a pressoflessione spiccato (Pied-Spicc)

Acciaio			
Tensione car. di rottura	f_{tk}	=	540 N/mm ²
Tensione car. di snervamento	f_{yk}	=	450 N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	γ_s	=	1.15
Resistenza di calcolo	f_{yd}	=	391 N/mm ²
Modulo elastico	E_s	=	200000 N/mm ²
	ϵ_{yd}	=	0.00196

Calcestruzzo			
Tipo	C30/37		
R_{ck}	37	N/mm ²	
f_{ck}	30.71	N/mm ²	
γ_c	1.5		
f_{cd}	20.5	N/mm ²	
f_{cc}	17.4	N/mm ²	

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec.	10	mm

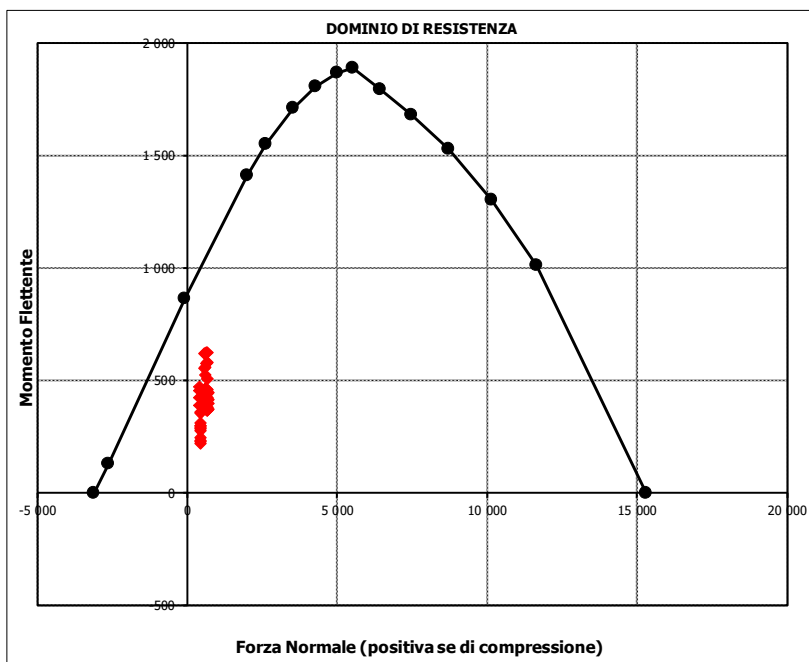
Geometria della sezione			
Altezza geometrica della sezione	h	=	70 cm
Base della sezione	b	=	100 cm
Copriferro	d'	=	8.3 cm
Altezza utile della sezione	d	=	61.7 cm

Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
2.5	26	13.27	cm ²
		0.00	cm ²
		39.82	cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
2.5	26	13.27	cm ²
		0.00	cm ²
		39.82	cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]
(Nmax)	Fr_3St_16S	686	445
(Nmin)	Fr_3St_72S	271	580
(Mmax)	Fr_3St_66S	0	653
(Mmin)	Fr_3St_38S	0	222

Caratteristiche di sollecitazione					
	Comb.	Nsd	Msd		
01S1-11M	686	371	53S3-11M	672	426
02S1-11T	668	370	54S3-11T	653	424
03S1-12M	686	400	55S3-12M	672	454
04S1-12T	668	399	56S3-12T	653	453
05S1-13M	653	580	57S3-13M	638	634
06S1-13T	635	579	58S3-13T	620	633
07S1-14-	451	246	59S3-14S	658	422
08S1-15-	418	426	60S3-15S	658	436
09S1-16S	673	368	61S3-16S	644	515
10S1-17S	673	381	62S3-21M	672	471
11S1-18S	659	461	63S3-21T	653	469
12S1-19S	451	231	64S3-22M	672	496
13S1-20S	437	310	65S3-22T	654	494
14S1-21M	686	417	66S3-23M	642	653
15S1-21T	668	415	67S3-23T	624	651
16S1-22M	686	445	68S3-24S	658	468
17S1-22T	668	444	69S3-25S	658	480
18S1-23M	653	625	70S3-26S	645	557
19S1-23T	635	624	71SSS1--	281	584
20S1-24-	451	292	72SSS2--	271	580
21S1-25-	418	472	73SSS3--	335	370
22S1-26S	673	413	74SSS4--	302	357
23S1-27S	673	427	75SSS5--	281	612
24S1-28S	659	506	76SSS6--	271	608
25S1-29S	451	276	77SSS7--	335	399
26S1-30S	437	356	78SSS8--	302	385
27S1T11M	628	375	79SSS9S	282	567
28S1T11T	613	374	80SSS10S	272	563
29S1T12M	628	401	81SSS11S	336	353
30S1T12T	613	399	82SSS12S	303	340
31S1T13M	598	557	83SSS13S	282	596
32S1T13T	584	556	84SSS14S	272	592
33S1T14-	451	234	85SSS15S	336	382
34S1T15-	422	391	86SSS16S	303	369
35S1T16S	617	373			
36S1T17S	617	386			
37S1T18S	603	462			
38S1T19S	451	222			
39S1T20S	438	298			
40S1T21M	628	438			
41S1T21T	613	437			
42S1T22M	628	463			
43S1T22T	613	462			
44S1T23M	598	620			
45S1T23T	584	618			
46S1T24-	451	297			
47S1T25-	422	453			
48S1T26S	617	435			
49S1T27S	617	448			
50S1T28S	603	524			
51S1T29S	451	284			
52S1T30S	438	361			



SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA LOTTO FASE-ENTE DOCUMENTO REV. FOGLIO
RS3Z 00 D 26 CLSL2100001 B 37 di 56

• Verifica a pressoflessione sommità (Pied-Sommità)

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ N/mm ²
Modulo elastico	$E_s = 200000$ N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00196$

Calcestruzzo	
Tipo	C30/37
R_{ck}	37 N/mm ²
f_{ck}	30.71 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	20.5 N/mm ²
f_{cc}	17.4 N/mm ²

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec	10	mm

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione h	= 70 cm
Base della sezione b	= 100 cm
Copriferro d'	= 8.3 cm
Altezza utile della sezione d	= 61.7 cm

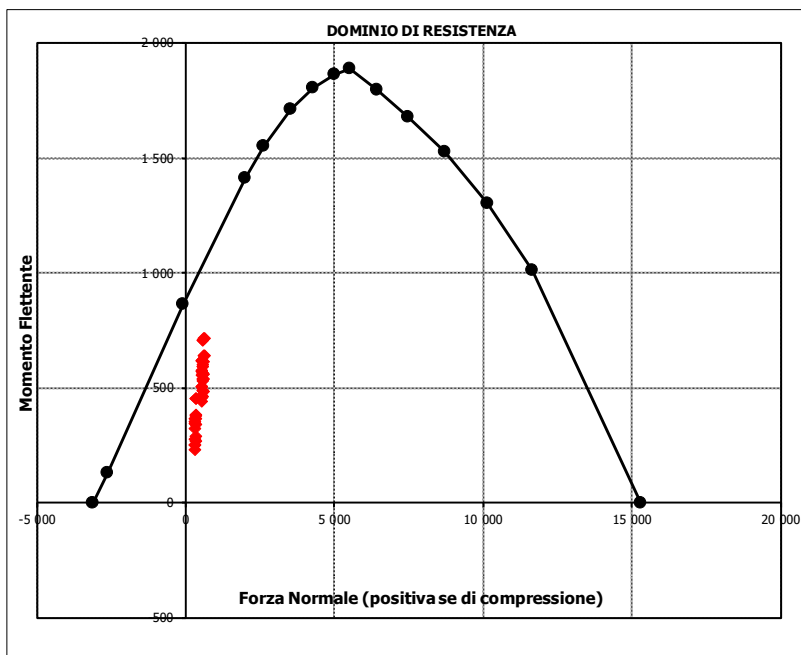
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm²
2.5	26	13.27	cm²
		0.00	cm²
			39.82 cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm²
2.5	26	13.27	cm²
		0.00	cm²
		39.82	cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_2St_58S	644	770
(Nmin)	Fr_2St_86S	263	302
(Mmax)	Fr_2St_57S	0	772
(Mmin)	Fr_2St_51S	0	230

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd		
01S1-11M	577	562	53S3-11M	592
02S1-11T	596	560	54S3-11T	610
03S1-12M	577	614	55S3-12M	592
04S1-12T	596	612	56S3-12T	610
05S1-13M	611	715	57S3-13M	626
06S1-13T	629	714	58S3-13T	644
07S1-14-	313	351	59S3-14S	579
08S1-15-	347	453	60S3-15S	579
09S1-16S	564	537	61S3-16S	593
10S1-17S	564	562	62S3-21M	592
11S1-18S	578	603	63S3-21T	610
12S1-19S	313	325	64S3-22M	592
13S1-20S	327	365	65S3-22T	610
14S1-21M	577	487	66S3-23M	621
15S1-21T	596	485	67S3-23T	639
16S1-22M	577	539	68S3-24S	579
17S1-22T	596	537	69S3-25S	579
18S1-23M	611	641	70S3-26S	592
19S1-23T	629	639	71SSS1--	331
20S1-24-	313	277	72SSS2--	321
21S1-25-	347	378	73SSS3--	300
22S1-26S	564	462	74SSS4--	267
23S1-27S	564	487	75SSS5--	331
24S1-28S	578	528	76SSS6--	321
25S1-29S	313	250	77SSS7--	300
26S1-30S	327	291	78SSS8--	267
27S1T11M	536	573	79SSS9S	327
28S1T11T	551	572	80SSS10S	317
29S1T12M	536	619	81SSS11S	296
30S1T12T	551	618	82SSS12S	263
31S1T13M	565	707	83SSS13S	327
32S1T13T	580	706	84SSS14S	317
33S1T14-	313	364	85SSS15S	295
34S1T15-	342	452	86SSS16S	263
35S1T16S	526	554		
36S1T17S	525	578		
37S1T18S	539	617		
38S1T19S	313	343		
39S1T20S	326	382		
40S1T21M	536	460		
41S1T21T	551	459		
42S1T22M	536	506		
43S1T22T	551	505		
44S1T23M	565	594		
45S1T23T	580	592		
46S1T24-	313	251		
47S1T25-	342	339		
48S1T26S	525	440		
49S1T27S	525	465		
50S1T28S	539	504		
51S1T29S	313	230		
52S1T30S	326	269		



SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
 esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLSL2100001	B	38 di 56

- Verifica a taglio

La verifica a taglio viene condotta nel seguente modo:

1. Verifica della sezione senza armatura al taglio → se $V_{Ed} < V_{Rd1}$ la verifica è soddisfatta;
2. Altrimenti si verifica la sezione con armatura a taglio → se $V_{Ed} < V_{Rd2}$ la verifica è soddisfatta.

Calcestruzzo

Tipo	C30/37
R_{ck}	37 N/mm ²
f_{ck}	30.7 N/mm ²
V_c	1.5
α_{cc}	0.85
f_{cd}	17.4 N/mm ²

Acciaio

f_{tk}	540 N/mm ²
f_{yk}	450 N/mm ²
V_s	1.15
f_{yd}	391 N/mm ²

Sollecitazioni

V_{Ed}	kN	384
N_{Ed}	kN	0

Piedritto
Armatura a taglio

Diametro	mm	12
Numero barre		2.5
A_{sw}	cm ²	2.83
Passo s	cm	20
Angolo α	°	90

Armatura longitudinale

n_1		5
$\varnothing_1$	mm	26
n_2		3
$\varnothing_2$	mm	26
A_{sl}	cm ²	39.82

Sezione

b_w	cm	100
H	cm	70
c	cm	8.3
d	cm	61.7
k	N/mm ²	1.57
v_{min}	N/mm ²	0.38
ρ		0.0065
σ_{cp}	N/mm ²	0.00
α_c		1.00

Resistenza senza armatura a taglio

V_{Rd}	kN	314
----------	----	------------

Resistenza con armatura a taglio

Inclinazione puntone θ	°	21.8
V_{RSd}	kN	768
V_{RCd}	kN	1666
V_{Rd}	kN	768

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
 esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA LOTTO FASE-ENTE DOCUMENTO REV. FOGLIO
 RS3Z 00 D 26 CLSL2100001 B 39 di 56

• Verifica a fessurazione spiccato (Pied-Spice)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	462.00	kN m
Sforzo normale	N	414	kN

Materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	R_{ck}	37	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f_{ck}	30.71	N/mm ²
Modulo elastico del calcestruzzo	E_{cm}	33019.43	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	16.9	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.4	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.3	N/mm ²
Tensione di snervamento acciaio	f_{yk}	450.00	N/mm ²
Modulo elastico dell'acciaio	E_s	200000.00	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	337.5	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	70	cm
Larghezza sezione	B	100	cm
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	26.55	cm ²
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	13.27	cm ²
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	13.27	cm ²
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	26.55	cm ²
		5 Ø 26	$c_{s1} = \textcolor{red}{8.3}$ cm
		3 Ø 26	$c_{s2} = \textcolor{red}{10.9}$ cm
		3 Ø 26	$c_{t2} = \textcolor{red}{10.9}$ cm
		5 Ø 26	$c_{t1} = \textcolor{red}{8.3}$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	7.0	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	170.8	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	111.5	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	76.5	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	23.5	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	8115	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	3657351.188	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	1389737.481	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	299	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	404	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	97.5	cm	
	u (M_{fess})	62.5	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.3		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	148.2	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	24.0	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	15.32	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	$A_{s,eff}$	39.82	cm ²	
Area efficace	$A_{c,eff}$	1532.09	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0260	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.000296352	-	
Copriferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K_1	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K_2	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K_3	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K_4	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr edi armatura	ϕ_{eq}	26.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs_{max}	340.0627108	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs_m	200.0368887	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.06	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.10	mm	

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
 esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLSL2100001	B	40 di 56

• Verifica a fessurazione sommità (Pied-Sommità)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	503.93	kN m
Sforzo normale	N	394	kN

Materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	R_{ck}	37	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f_{ck}	30.71	N/mm ²
Modulo elastico del calcestruzzo	E_{cm}	33019.43	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{amm}	16.9	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.4	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.3	N/mm ²
Tensione di snervamento acciaio	f_{yk}	450.00	N/mm ²
Modulo elastico dell'acciaio	E_s	200000.00	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{amm}	337.5	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	70	cm
Larghezza sezione	B	100	cm
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	26.55	cm ²
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	13.27	cm ²
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	13.27	cm ²
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	26.55	cm ²

$5 \text{ } \varnothing 26 \text{ } c_{s1} = 8.3 \text{ cm}$
 $3 \text{ } \varnothing 26 \text{ } c_{s2} = 10.9 \text{ cm}$
 $3 \text{ } \varnothing 26 \text{ } c_{t2} = 10.9 \text{ cm}$
 $5 \text{ } \varnothing 26 \text{ } c_{t1} = 8.3 \text{ cm}$

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	7.6	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	193.0	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	127.8	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	92.8	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	22.9	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	8115	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	3657351.188	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	1375023.578	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	296	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	402	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	101.8	cm	
	u (M_{fess})	66.8	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.3		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	149.5	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	23.8	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	15.40	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	39.82	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	1539.55	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0259	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ε_{sm}	0.000299051	-	
Copri ferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K_1	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K_2	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K_3	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K_4	0.425	-	
Diametro equivalente delle barre di armatura	ϕ_{eq}	26.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs_{max}	340.8905427	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs_m	200.5238487	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.06	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.10	mm	

9.5.2 Verifica soletta superiore

Sezione: 70 x 100 cm

Armatura a flessione:

- Appoggio (Solsup-App)

Armatura tesa

ϕ 26/20 + ϕ 26/40 cm

Armatura compressa

ϕ 26/20 + ϕ 26/40 cm

- Campata (Solsup-Camp)

Armatura tesa

ϕ 26/20 + ϕ 26/40 cm

Armatura compressa

ϕ 26/20 + ϕ 26/40 cm

Armatura a taglio:

Spille ϕ 12/20x40 cm.

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA LOTTO FASE-ENTE DOCUMENTO REV. FOGLIO
RS3Z 00 D 26 CLSL2100001 B 42 di 56

• Verifica a pressoflessione appoggio (Solsup-App)

Acciaio			
Tensione car. di rottura	f_{tk}	= 540	N/mm ²
Tensione car. di snervamento	f_{yk}	= 450	N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	γ_s	= 1.15	
Resistenza di calcolo	f_{td}	= 391	N/mm ²
Modulo elastico	E_s	= 205000	N/mm ²
	ϵ_{yd}	= 0.00191	

Calcestruzzo			
Tipo	C30/37		
	R_{ck}	= 37	N/mm ²
	f_{ck}	= 30.71	N/mm ²
	γ_c	= 1.5	
	f_{cd}	= 20.5	N/mm ²
	f_{cc}	= 17.4	N/mm ²

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec.	10	mm

Geometria della sezione			
Altezza geometrica della sezione	h	= 70	cm
Base della sezione	b	= 100	cm
Copriferro	d'	= 8.3	cm
Altezza utile della sezione	d	= 61.7	cm

Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
2.5	26	13.27	cm ²
		0.00	cm ²
39.82 cm²			

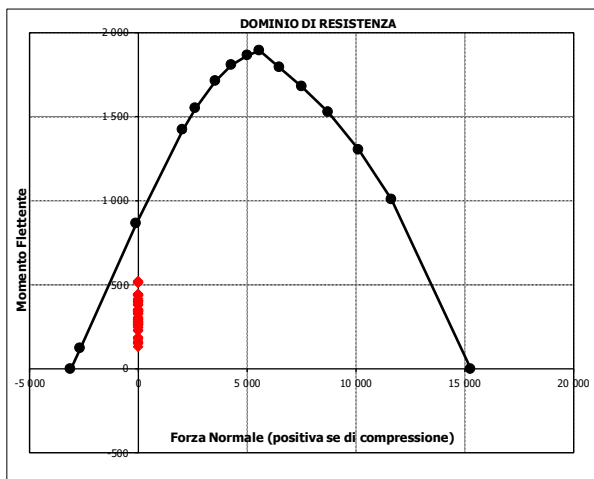
Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
2.5	26	13.27	cm ²
		0.00	cm ²
39.82 cm²			

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_1St_01S	0	373
(Nmin)	Fr_1St_01S	0	373
(Mmax)	Fr_1St_57S	0	566
(Mmin)	Fr_1St_51S	0	132

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd	
01S1-11M	0	373	Fr_1St_01S1-11M_0.35
02S1-11T	0	367	Fr_1St_02S1-11T_0.35
03S1-12M	0	425	Fr_1St_03S1-12M_0.35
04S1-12T	0	419	Fr_1St_04S1-12T_0.35
05S1-13M	0	515	Fr_1St_05S1-13M_0.35
06S1-13T	0	509	Fr_1St_06S1-13T_0.35
07S1-14-	0	253	Fr_1St_07S1-14-_0.35
08S1-15-	0	343	Fr_1St_08S1-15-_0.35
09S1-16S	0	355	Fr_1St_09S1-16S_0.35
10S1-17S	0	380	Fr_1St_10S1-17S_0.35
11S1-18S	0	416	Fr_1St_11S1-18S_0.35
12S1-19S	0	226	Fr_1St_12S1-19S_0.35
13S1-20S	0	262	Fr_1St_13S1-20S_0.35
14S1-21M	0	298	Fr_1St_14S1-21M_0.35
15S1-21T	0	293	Fr_1St_15S1-21T_0.35
16S1-22M	0	350	Fr_1St_16S1-22M_0.35
17S1-22T	0	345	Fr_1St_17S1-22T_0.35
18S1-23M	0	440	Fr_1St_18S1-23M_0.35
19S1-23T	0	435	Fr_1St_19S1-23T_0.35
20S1-24-	0	178	Fr_1St_20S1-24-_0.35
21S1-25-	0	268	Fr_1St_21S1-25-_0.35
22S1-26S	0	280	Fr_1St_22S1-26S_0.35
23S1-27S	0	305	Fr_1St_23S1-27S_0.35
24S1-28S	0	341	Fr_1St_24S1-28S_0.35
25S1-29S	0	151	Fr_1St_25S1-29S_0.35
26S1-30S	0	187	Fr_1St_26S1-30S_0.35
27S1T11M	0	399	Fr_1St_27S1T11M_0.35
28S1T11T	0	394	Fr_1St_28S1T11T_0.35
29S1T12M	0	444	Fr_1St_29S1T12M_0.35
30S1T12T	0	440	Fr_1St_30S1T12T_0.35
31S1T13M	0	522	Fr_1St_31S1T13M_0.35
32S1T13T	0	517	Fr_1St_32S1T13T_0.35
33S1T14-	0	266	Fr_1St_33S1T14-_0.35
34S1T15-	0	344	Fr_1St_34S1T15-_0.35
35S1T16S	0	384	Fr_1St_35S1T16S_0.35
36S1T17S	0	408	Fr_1St_36S1T17S_0.35
37S1T18S	0	443	Fr_1St_37S1T18S_0.35
38S1T19S	0	245	Fr_1St_38S1T19S_0.35
39S1T20S	0	279	Fr_1St_39S1T20S_0.35
40S1T21M	0	286	Fr_1St_40S1T21M_0.35
41S1T21T	0	281	Fr_1St_41S1T21T_0.35
42S1T22M	0	331	Fr_1St_42S1T22M_0.35
43S1T22T	0	327	Fr_1St_43S1T22T_0.35
44S1T23M	0	409	Fr_1St_44S1T23M_0.35
45S1T23T	0	404	Fr_1St_45S1T23T_0.35
46S1T24-	0	153	Fr_1St_46S1T24-_0.35
47S1T25-	0	230	Fr_1St_47S1T25-_0.35
48S1T26S	0	271	Fr_1St_48S1T26S_0.35
49S1T27S	0	295	Fr_1St_49S1T27S_0.35
50S1T28S	0	330	Fr_1St_50S1T28S_0.35
51S1T29S	0	132	Fr_1St_51S1T29S_0.35
52S1T30S	0	166	Fr_1St_52S1T30S_0.35

53S3-11M	0	424
54S3-11T	0	418
55S3-12M	0	476
56S3-12T	0	470
57S3-13M	0	566
58S3-13T	0	560
59S3-14S	0	406
60S3-15S	0	431
61S3-16S	0	467
62S3-21M	0	349
63S3-21T	0	344
64S3-22M	0	395
65S3-22T	0	389
66S3-23M	0	473
67S3-23T	0	467
68S3-24S	0	331
69S3-25S	0	355
70S3-26S	0	390
71S5S1-	0	450
72S5S2-	0	445
73S5S3-	0	291
74S5S4-	0	277
75S5S5-	0	405
76S5S6-	0	401
77S5S7-	0	246
78S5S8-	0	232
79S5S9S	0	436
80S5S10S	0	432
81S5S11S	0	277
82S5S12S	0	263
83S5S13S	0	391
84S5S14S	0	387
85S5S15S	0	233
86S5S16S	0	218



SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA LOTTO FASE-ENTE DOCUMENTO REV. FOGLIO
RS3Z 00 D 26 CLSL2100001 B 43 di 56

• Verifica a pressoflessione campata (Solsup-Camp)

Acciaio			
Tensione car. di rottura	f_{tk}	=	540 N/mm ²
Tensione car. di snervamento	f_{yk}	=	450 N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	γ_s	=	1.15
Resistenza di calcolo	f_{yd}	=	391 N/mm ²
Modulo elastico	E_s	=	205000 N/mm ²
	ϵ_{yd}	=	0.00191

Calcestruzzo			
Tipo	C30/37		
R_{ck}	37	N/mm ²	
f_{ck}	30.71	N/mm ²	
γ_c	1.5		
f_{cd}	20.5	N/mm ²	
f_{cc}	17.4	N/mm ²	

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec.	10	mm

Geometria della sezione			
Altezza geometrica della sezione	h	=	70 cm
Base della sezione	b	=	100 cm
Copri ferro	d'	=	8.3 cm
Altezza utile della sezione	d	=	61.7 cm

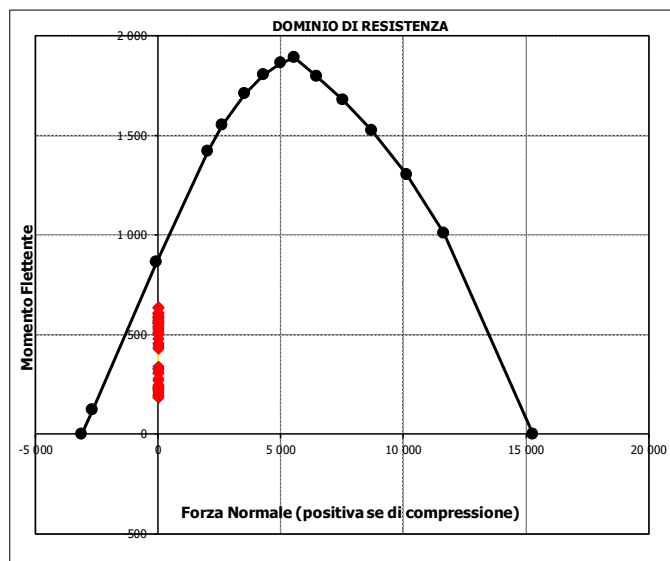
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
2.5	26	13.27	cm ²
		0.00	cm ²
		39.82	cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
2.5	26	13.27	cm ²
		0.00	cm ²
		39.82	cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax) Fr_1St_01S	0	561	
(Nmin) Fr_1St_01S	0	561	
(Mmax) Fr_1St_62S	0	636	
(Mmin) Fr_1St_80S	0	183	

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	0	561	53S3-11M	0	561
02S1-11T	0	558	54S3-11T	0	558
03S1-12M	0	509	55S3-12M	0	509
04S1-12T	0	506	56S3-12T	0	506
05S1-13M	0	535	57S3-13M	0	535
06S1-13T	0	532	58S3-13T	0	532
07S1-14-	0	207	59S3-14S	0	526
08S1-15-	0	233	60S3-15S	0	501
09S1-16S	0	526	61S3-16S	0	514
10S1-17S	0	501	62S3-21M	0	636
11S1-18S	0	514	63S3-21T	0	633
12S1-19S	0	234	64S3-22M	0	590
13S1-20S	0	247	65S3-22T	0	587
14S1-21M	0	636	66S3-23M	0	613
15S1-21T	0	633	67S3-23T	0	610
16S1-22M	0	584	68S3-24S	0	601
17S1-22T	0	581	69S3-25S	0	577
18S1-23M	0	610	70S3-26S	0	589
19S1-23T	0	607	71SSS1--	0	197
20S1-24-	0	282	72SSS2--	0	186
21S1-25-	0	308	73SSS3--	0	227
22S1-26S	0	601	74SSS4--	0	190
23S1-27S	0	576	75SSS5--	0	242
24S1-28S	0	589	76SSS6--	0	231
25S1-29S	0	309	77SSS7--	0	272
26S1-30S	0	321	78SSS8--	0	235
27S1T11M	0	481	79SSS9S	0	194
28S1T11T	0	479	80SSS10S	0	183
29S1T12M	0	436	81SSS11S	0	224
30S1T12T	0	433	82SSS12S	0	187
31S1T13M	0	459	83SSS13S	0	239
32S1T13T	0	456	84SSS14S	0	228
33S1T14-	0	194	85SSS15S	0	269
34S1T15-	0	217	86SSS16S	0	232
35S1T16S	0	454			
36S1T17S	0	429			
37S1T18S	0	442			
38S1T19S	0	216			
39S1T20S	0	228			
40S1T21M	0	594			
41S1T21T	0	592			
42S1T22M	0	549			
43S1T22T	0	546			
44S1T23M	0	572			
45S1T23T	0	570			
46S1T24-	0	307			
47S1T25-	0	330			
48S1T26S	0	567			
49S1T27S	0	542			
50S1T28S	0	555			
51S1T29S	0	329			
52S1T30S	0	341			



SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
 esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLSL2100001	B	44 di 56

- Verifica a taglio

La verifica a taglio viene condotta nel seguente modo:

1. Verifica della sezione senza armatura a taglio → se $V_{Ed} < V_{Rd1}$ la verifica è soddisfatta;
2. Altrimenti si verifica la sezione con armatura a taglio → se $V_{Ed} < V_{Rd2}$ la verifica è soddisfatta.

Calcestruzzo

Tipo	C30/37	
R_{ck}	37	N/mm ²
f_{ck}	30.7	N/mm ²
γ_c	1.5	
α_{cc}	0.85	
f_{cd}	17.4	N/mm ²

Acciaio

f_{tk}	540	N/mm ²
f_{yk}	450	N/mm ²
γ_s	1.15	
f_{yd}	391	N/mm ²

Sollecitazioni

V_{Ed}	kN	573
N_{Ed}	kN	0

Soletta sup
Armatura a taglio

Diametro	mm	12
Numero barre		2.5
A_{sw}	cm ²	2.83
Passo s	cm	20
Angolo α	°	90

Armatura longitudinale

n_1		5
$\varnothing_1$	mm	26
n_2		3
$\varnothing_2$	mm	26
Asl	cm ²	39.82

Sezione

b_w	cm	100
H	cm	70
c	cm	8.3
d	cm	61.7
k	N/mm ²	1.57
v_{min}	N/mm ²	0.38
ρ		0.0065
σ_{cp}	N/mm ²	0.00
α_c		1.00

Resistenza senza armatura a taglio

V_{Rd}	kN	314
----------	----	------------

Resistenza con armatura a taglio

Inclinazione puntone θ	°	21.8
V_{RSd}	kN	768
V_{RCd}	kN	1666
V_{Rd}	kN	768

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
 esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA LOTTO FASE-ENTE DOCUMENTO REV. FOGLIO
 RS3Z 00 D 26 CLSL2100001 B 45 di 56

• Verifica a fessurazione appoggio (Solsup-App)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	374.77	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	R_{ck}	37	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f_{ck}	30.71	N/mm ²
Modulo elastico del calcestruzzo	E_{cm}	33019.43	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{amm}	16.9	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.4	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.3	N/mm ²
Tensione di snervamento acciaio	f_{yk}	450.00	N/mm ²
Modulo elastico dell'acciaio	E_s	205000.00	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	337.5	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	70	cm
Larghezza sezione	B	100	cm
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	26.55	cm ²
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	13.27	cm ²
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	13.27	cm ²
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	26.55	cm ²

5 Ø 26 $C_{s1} = 8.3$ cm
 3 Ø 26 $C_{s2} = 10.9$ cm
 3 Ø 26 $C_{i2} = 10.9$ cm
 5 Ø 26 $C_{i1} = 8.3$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	5.4	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	178.6	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	19.3	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	8115	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	3657351.188	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	1333102.273	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	246	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	351	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	∞	cm	
	u (M_{fess})	∞	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.5		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	160.8	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	21.0	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	16.35	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.2	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	39.82	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	1634.55	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0244	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.000319987	-	
Copri ferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K_1	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K_2	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K_3	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K_4	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	ϕ_{eq}	26.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs_{max}	351.4356779	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs_m	206.7268693	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.07	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.11	mm	

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
 esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA LOTTO FASE-ENTE DOCUMENTO REV. FOGLIO
 RS3Z 00 D 26 CLSL2100001 B 46 di 56

• Verifica a fessurazione campata (Solsup-Camp)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	415.62	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	R_{ck}	37	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f_{ck}	30.71	N/mm ²
Modulo elastico del calcestruzzo	E_{cm}	33019.43	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	16.9	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.4	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.3	N/mm ²
Tensione di snervamento acciaio	f_{yk}	450.00	N/mm ²
Modulo elastico dell'acciaio	E_s	205000.00	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	337.5	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	70	cm
Larghezza sezione	B	100	cm
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	26.55	cm ²
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	13.27	cm ²
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	13.27	cm ²
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	26.55	cm ²

5 Ø 26 $C_{s1} = 8.3$ cm
 3 Ø 26 $C_{s2} = 10.9$ cm
 3 Ø 26 $C_{i2} = 10.9$ cm
 5 Ø 26 $C_{i1} = 8.3$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	6.0	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	198.1	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	19.3	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	8115	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	3657351.188	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	1333102.273	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	246	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	351	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	∞	cm	
	u (M_{fess})	∞	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.6		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	159.5	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	21.3	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	16.24	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.2	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	39.82	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	1623.84	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0245	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.000316443	-	
Copri ferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K_1	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K_2	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K_3	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K_4	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr edi armatura	ϕ_{eq}	26.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs_{max}	350.2466053	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs_m	206.0274149	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.07	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.11	mm	

9.5.3 Verifica soletta inferiore

Sezione: 80 x 100 cm

Armatura a flessione:

- Appoggio (Solinf-App)

Armatura tesa

ϕ 26/20 + ϕ 26/40 cm

Armatura compressa

ϕ 26/20 + ϕ 26/40 cm

- Campata (Solinf-Camp)

Armatura tesa

ϕ 26/20 + ϕ 26/40 cm

Armatura compressa

ϕ 26/20 + ϕ 26/40 cm

Armatura a taglio:

Spille ϕ 12/20x40 cm.

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA LOTTO FASE-ENTE DOCUMENTO REV. FOGLIO
RS3Z 00 D 26 CLSL2100001 B 48 di 56

• Verifica a pressoflessione appoggio (Solinf-App)

Acciaio			
Tensione car. di rottura	f_{tk}	=	540 N/mm ²
Tensione car. di snervamento	f_{yk}	=	450 N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	γ_s	=	1.15
Resistenza di calcolo	f_{yd}	=	391 N/mm ²
Modulo elastico	E_s	=	200000 N/mm ²
	ϵ_{yd}	=	0.00196

Calcestruzzo			
Tipo	C30/37		
R_{ck}	37	N/mm ²	
f_{dk}	30.71	N/mm ²	
γ_c	1.5		
f_{cd}	20.5	N/mm ²	
f_{cc}	17.4	N/mm ²	

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec	10	mm

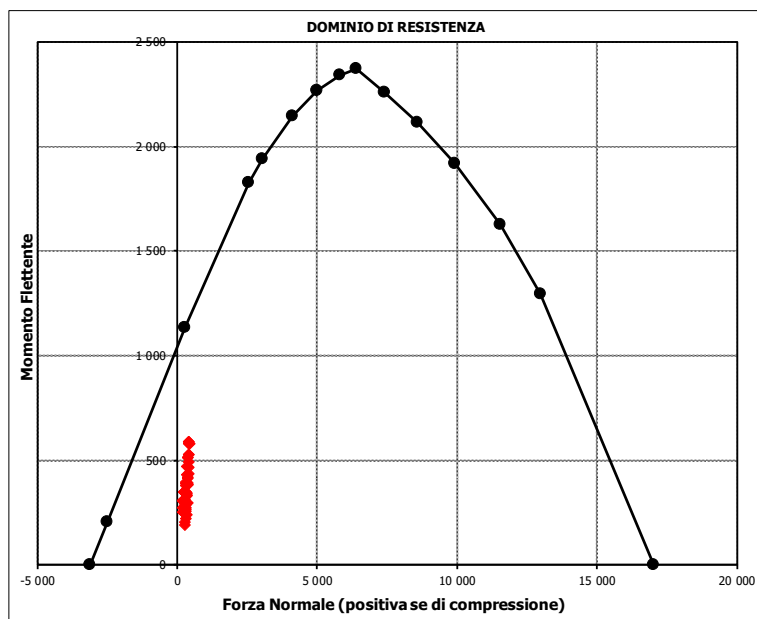
Geometria della sezione			
Altezza geometrica della sezione	h	=	80 cm
Base della sezione	b	=	100 cm
Copriferro	d'	=	8.3 cm
Altezza utile della sezione	d	=	71.7 cm

Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
2.5	26	13.27	cm ²
		0.00	cm ²
39.82 cm²			

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
2.5	26	13.27	cm ²
		0.00	cm ²
39.82 cm²			

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_13St_76	459	671
(Nmin)	Fr_13St_01	195	251
(Mmax)	Fr_13St_75	458	672
(Mmin)	Fr_13St_36	269	190

Caratteristiche di sollecitazione					
Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	195	251	53S3-11M	213	313
02S1-11T	195	253	54S3-11T	214	314
03S1-12M	344	329	55S3-12M	363	390
04S1-12T	345	331	56S3-12T	364	392
05S1-13M	401	525	57S3-13M	420	587
06S1-13T	402	527	58S3-13T	421	588
07S1-14-	344	240	59S3-14S	217	314
08S1-15-	401	436	60S3-15S	299	354
09S1-16S	198	253	61S3-16S	324	440
10S1-17S	280	292	62S3-21M	234	366
11S1-18S	305	379	63S3-21T	235	368
12S1-19S	276	202	64S3-22M	368	435
13S1-20S	301	288	65S3-22T	369	436
14S1-21M	215	305	66S3-23M	418	606
15S1-21T	216	307	67S3-23T	418	607
16S1-22M	365	382	68S3-24S	238	368
17S1-22T	365	384	69S3-25S	317	406
18S1-23M	422	579	70S3-26S	341	488
19S1-23T	423	581	71SSS1--	445	638
20S1-24-	364	293	72SSS2--	446	637
21S1-25-	421	490	73SSS3--	297	370
22S1-26S	219	306	74SSS4--	299	366
23S1-27S	301	346	75SSS5--	458	672
24S1-28S	325	432	76SSS6--	459	671
25S1-29S	296	255	77SSS7--	309	403
26S1-30S	321	341	78SSS8--	311	399
27S1T11M	205	272	79SSS9S	432	618
28S1T11T	205	274	80SSS10S	433	617
29S1T12M	339	341	81SSS11S	284	349
30S1T12T	339	342	82SSS12S	286	345
31S1T13M	388	512	83SSS13S	445	652
32S1T13T	389	513	84SSS14S	445	650
33S1T14-	323	221	85SSS15S	296	383
34S1T15-	373	392	86SSS16S	298	379
35S1T16S	208	273			
36S1T17S	287	312			
37S1T18S	311	394			
38S1T19S	269	190			
39S1T20S	293	273			
40S1T21M	235	346			
41S1T21T	235	348			
42S1T22M	369	415			
43S1T22T	369	416			
44S1T23M	418	586			
45S1T23T	419	587			
46S1T24-	353	295			
47S1T25-	403	466			
48S1T26S	238	348			
49S1T27S	317	386			
50S1T28S	341	468			
51S1T29S	299	264			
52S1T30S	323	347			



SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA LOTTO FASE-ENTE DOCUMENTO REV. FOGLIO
RS3Z 00 D 26 CLSL2100001 B 49 di 56

• Verifica a pressoflessione campata (Solinf-Camp)

Acciaio			
Tensione car. di rottura	f_{tk}	=	540 N/mm ²
Tensione car. di snervamento	f_{yk}	=	450 N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	γ_s	=	1.15
Resistenza di calcolo	f_{yd}	=	391 N/mm ²
Modulo elastico	E_s	=	200000 N/mm ²
	ϵ_{yd}	=	0.00196

Calcestruzzo			
Tipo	C30/37		
R _{ck}	37	N/mm ²	
f _{ck}	30.71	N/mm ²	
γ_c	1.5		
f _{cd}	20.5	N/mm ²	
f _{ctd}	17.4	N/mm ²	

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec.	10	mm

Geometria della sezione			
Altezza geometrica della sezione	h	=	80 cm
Base della sezione	b	=	100 cm
Copriferro	d'	=	8.3 cm
Altezza utile della sezione	d	=	71.7 cm

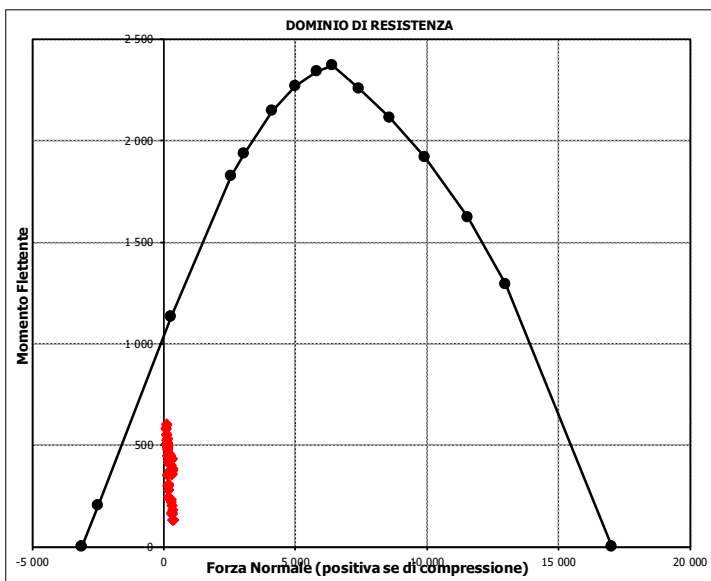
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
2.5	26	13.27	cm ²
		0.00	cm ²
39.82 cm²			

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
2.5	26	13.27	cm ²
		0.00	cm ²
39.82 cm²			

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_7St_20S	365	131
(Nmin)	Fr_7St_71S	-13	433
(Mmax)	Fr_7St_58S	82	642
(Mmin)	Fr_7St_46S	354	130

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	157	507	53S3-11M	138	544
02S1-11T	158	512	54S3-11T	139	548
03S1-12M	308	431	55S3-12M	289	467
04S1-12T	308	436	56S3-12T	290	472
05S1-13M	100	601	57S3-13M	81	637
06S1-13T	101	606	58S3-13T	82	642
07S1-14-	345	184	59S3-14S	142	529
08S1-15-	137	354	60S3-15S	224	490
09S1-16S	160	493	61S3-16S	117	569
10S1-17S	242	454	62S3-21M	159	491
11S1-18S	136	533	63S3-21T	159	496
12S1-19S	276	221	64S3-22M	293	424
13S1-20S	169	300	65S3-22T	294	429
14S1-21M	177	455	66S3-23M	109	572
15S1-21T	178	460	67S3-23T	110	577
16S1-22M	328	379	68S3-24S	162	477
17S1-22T	329	384	69S3-25S	242	439
18S1-23M	120	549	70S3-26S	138	515
19S1-23T	121	554	71SSS1--	-13	433
20S1-24-	365	131	72SSS2--	-13	425
21S1-25-	158	301	73SSS3--	56	326
22S1-26S	181	440	74SSS4--	58	299
23S1-27S	263	402	75SSS5--	-1	400
24S1-28S	156	480	76SSS6--	0	392
25S1-29S	296	169	77SSS7--	69	293
26S1-30S	190	247	78SSS8--	71	266
27S1T11M	144	497	79SSS9S	-8	424
28S1T11T	145	501	80SSS10S	-8	415
29S1T12M	279	430	81SSS11S	61	317
30S1T12T	280	433	82SSS12S	63	290
31S1T13M	95	578	83SSS13S	4	390
32S1T13T	96	582	84SSS14S	5	382
33S1T14-	324	203	85SSS15S	73	284
34S1T15-	140	352	86SSS16S	76	256
35S1T16S	147	485			
36S1T17S	227	448			
37S1T18S	124	524			
38S1T19S	269	233			
39S1T20S	165	308			
40S1T21M	174	424			
41S1T21T	175	428			
42S1T22M	309	357			
43S1T22T	310	361			
44S1T23M	125	505			
45S1T23T	126	509			
46S1T24-	354	130			
47S1T25-	170	279			
48S1T26S	177	412			
49S1T27S	257	375			
50S1T28S	154	451			
51S1T29S	299	160			
52S1T30S	195	235			



SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
 esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLSL2100001	B	50 di 56

- Verifica a taglio

La verifica a taglio viene condotta nel seguente modo:

1. Verifica della sezione senza armatura al taglio → se $V_{Ed} < V_{Rd1}$ la verifica è soddisfatta;
2. Altrimenti si verifica la sezione con armatura a taglio → se $V_{Ed} < V_{Rd2}$ la verifica è soddisfatta.

Calcestruzzo

Tipo	C30/37	
R_{ck}	37	N/mm ²
f_{ck}	30.7	N/mm ²
γ_c	1.5	
α_{cc}	0.85	
f_{cd}	17.4	N/mm ²

Acciaio

f_{tk}	540	N/mm ²
f_{yk}	450	N/mm ²
γ_s	1.15	
f_{yd}	391	N/mm ²

Sollecitazioni

V_{Ed}	kN	547
N_{Ed}	kN	0

Soletta inf
Armatura a taglio

Diametro	mm	12
Numero barre		2.5
A_{sw}	cm ²	2.83
Passo s	cm	20
Angolo α	°	90

Armatura longitudinale

n_1		5
$\varnothing_1$	mm	26
n_2		3
$\varnothing_2$	mm	26
Asl	cm ²	39.82

Sezione

b_w	cm	100
H	cm	80
c	cm	8.3
d	cm	71.7
k	N/mm ²	1.53
v_{min}	N/mm ²	0.37
ρ		0.0056
σ_{cp}	N/mm ²	0.00
α_c		1.00

Resistenza senza armatura a taglio

V_{Rd}	kN	338
----------	----	------------

Resistenza con armatura a taglio

Inclinazione puntone θ	°	21.8
V_{RSd}	kN	893
V_{RCd}	kN	1936
V_{Rd}	kN	893

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
 esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA LOTTO FASE-ENTE DOCUMENTO REV. FOGLIO
 RS3Z 00 D 26 CLSL2100001 B 51 di 56

• Verifica a fessurazione appoggio (Solinf-App)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	445.32	kN m
Sforzo normale	N	313	kN

Materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	R_{ck}	37	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f_{ck}	30.71	N/mm ²
Modulo elastico del calcestruzzo	E_{cm}	33019.43	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{amm}	16.9	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.4	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.3	N/mm ²
Tensione di snervamento acciaio	f_{yk}	450.00	N/mm ²
Modulo elastico dell'acciaio	E_s	200000.00	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{amm}	337.5	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	80	cm
Larghezza sezione	B	100	cm
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	26.55	cm ²
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	13.27	cm ²
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	13.27	cm ²
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	26.55	cm ²

5 Ø 26 $c_{s1} = 8.3$ cm
 3 Ø 26 $c_{s2} = 10.9$ cm
 3 Ø 26 $c_{t2} = 10.9$ cm
 5 Ø 26 $c_{t1} = 8.3$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	5.3	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	142.8	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	142.4	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	102.4	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	25.5	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	9115	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	5404151.86	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	1941216.782	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	364	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	500	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	159.9	cm	
	u (M_{fess})	119.9	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.1		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	171.3	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	24.9	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	18.38	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	39.82	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	1837.94	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0217	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.000342619	-	
Copriferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K_1	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K_2	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K_3	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K_4	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr edi armatura	ϕ_{eq}	26.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs_{max}	374.01186	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs_m	220.0069765	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.08	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.13	mm	

SL21 – Prolungamento sottovia scatolare
 esistente – km 28+878
Relazione di calcolo sottovia

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLSL2100001	B	52 di 56

• Verifica a fessurazione campata (Solinf-Camp)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	427.38	kN m
Sforzo normale	N	313	kN

Materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	R_{ck}	37	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f_{ck}	30.71	N/mm ²
Modulo elastico del calcestruzzo	E_{cm}	33019.43	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{amm}	16.9	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.4	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.3	N/mm ²
Tensione di snervamento acciaio	f_{yk}	450.00	N/mm ²
Modulo elastico dell'acciaio	E_s	200000.00	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	337.5	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	80	cm
Larghezza sezione	B	100	cm
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	26.55	cm ²
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	13.27	cm ²
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	13.27	cm ²
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	26.55	cm ²

5 Ø 26 $c_{s1} = 8.3$ cm
 3 Ø 26 $c_{s2} = 10.9$ cm
 3 Ø 26 $c_{i2} = 10.9$ cm
 5 Ø 26 $c_{i1} = 8.3$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	5.0	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	135.6	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	136.7	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	96.7	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	25.7	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	9115	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	5404151.86	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	1947300.004	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	364	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	500	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	159.9	cm	
	u (M_{fess})	119.9	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.1		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	171.3	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	24.9	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	18.38	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	39.82	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	1837.95	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0217	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.000342624	-	
Copri ferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K_1	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K_2	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K_3	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K_4	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	ϕ_{eq}	26.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs_{max}	374.0133134	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs_m	220.0078314	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.08	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.13	mm	

10. INCIDENZA SCATOLARE

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

Piedritti	130 kg/mc
Soletta superiore	130 kg/mc
Soletta inferiore	115 kg/mc

Come previsto dall' Eurocodice (UNI EN 1992-1-1) per le piastre a portanza unidirezionale si raccomanda di prevedere un'armatura secondaria in quantità non minore del 20% dell'armatura principale.

Pertanto nel calcolo è stata considerata un' armatura longitudinale diffusa $\phi 16/20$ ed un incremento del 15% per tener conto della presenza di legature e spille.

	PROGETTO DEFINITIVO DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA–CATANIA–PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2					
SL21 – Prolungamento sottovia scatolare esistente – km 28+878 <i>Relazione di calcolo sottovia</i>	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL2100001	REV. B	FOGLIO 54 di 56

11. DICHIARAZIONI SECONDO D.M. 17/01/2018 (P.TO 10.2)

11.1 Tipo di analisi svolte

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. L'analisi strutturale è condotta con l'analisi statica, utilizzando il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato limite indotto dai carichi statici. L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti, schematizzando la struttura in elementi lineari e nodi. Le incognite del problema sono le componenti di spostamento in corrispondenza di ogni nodo (2 spostamenti e 1 rotazioni).

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

11.2 Origine e caratteristiche dei Codici di Calcolo

Titolo: SAP2000 Ultimate
Versione: 21.0.2
Produttore: CSI Computers and Structures, Inc.

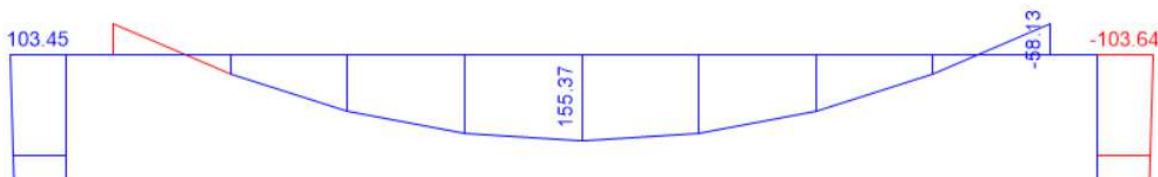
11.3 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a valutazione che ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali.

In particolare, è stato confrontato il valore del momento flettente in campata del solettone superiore con i rispettivi valori ottenuti per uno schema statico a trave appoggiata (limite superiore) e per uno schema a trave doppiamente incastrata (limite inferiore).

Come carico di confronto è stato utilizzato il carico permanente non strutturale $G_2=35.86 \text{ kN/m}$.

La figura seguente mostra il momento flettente ottenuto dal modello agli elementi finiti utilizzato per le verifiche:



Calcolo analitico_trave appoggiata			
Carico uniformemente distribuito	G_2	35.86	kN/m
Luce di calcolo	L	6.9	m
Momento in campata	$M_{l/2}$	213.41	kNm/m
Calcolo analitico_trave incastrata			
Carico uniformemente distribuito	G_2	35.86	kN/m
Luce di calcolo	L	6.9	m
Momento in campata	$M_{l/2}$	71.14	kNm/m
SAP2000			
Momento in campata	$M_{l/2}$	155.37	kNm/m
Momento in campata_trave incastrata			
	Lim.Inf.	71.14	kNm/m
Momento in campata_SAP2000			
		155.37	kNm/m
Momento in campata_trave appoggiata			
	Lim.Sup.	213.41	kNm/m
Momento in campata_trave semi-incastrata			
	$M_{l/2}$	142.27	kNm/m
Errore	e	9.2%	

Come si nota, il valore del momento restituito dal programma di calcolo cade all'interno dei valori limite ottenuti dai due schemi statici adottati. Il vincolo effettivo è quindi assimilabile ad un semi-incastro. Nella tabella precedente è riportato anche l'errore percentuale, in valore assoluto, tra il modello agli elementi finiti adottato e lo schema statico di trave con semi-incastri alle estremità.

Dal confronto numerico delle deformate e dello stato sollecitativo, si ritengono i risultati del calcolo congrui con le azioni applicate e la geometria del problema.

In base a quanto sopra, si asserisce che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto, i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.